

УДК 004.896:622.7.012

# ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ФИРМЕННОЙ АСАК-РИВС ДЛЯ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**А. В. БОНДАРЕНКО**<sup>1</sup>, руководитель Аналитического центра, канд. техн. наук,  
A\_Bondarenko@rivs.ru

**И. С. НИКАНДРОВ**<sup>1</sup>, руководитель сектора системотехники Аналитического центра

**Д. С. АНДРЕЕВ**<sup>1</sup>, руководитель сектора методико-математических исследований Аналитического центра

<sup>1</sup> СП ЗАО «ИВС», Санкт-Петербург, Россия

## Введение

Стратегией компании СП ЗАО «ИВС» (НПО «РИВС») является комплексный подход к решению проблемы обогащения минерального сырья [1]. Под комплексным подходом понимается решение всех задач, связанных с обогащением сырья, включая конструирование и изготовление нового оборудования, разработку инновационных технологий, средств и систем автоматизации, проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию горно-обогатительных предприятий. По мнению авторов, именно такой подход может называться комплексным (сдача «под ключ»), который позволяет эффективно достигать поставленные цели.

В связи с этим в НПО «РИВС» развивается множество направлений деятельности. Одним из новейших направлений, реализуемых в рамках Аналитического центра НПО «РИВС», является разработка и внедрение фирменных автоматических систем аналитического контроля (АСАК).

На современных горно-обогатительных предприятиях АСАК позволяет решать следующие основные задачи:

- контроль качества исходных руд, промежуточных продуктов, хвостов и концентратов;
- расчет технико-экономических показателей, включая технологический и товарный баланс, на основе информации о содержании полезных компонентов в исходной руде, промежуточных продуктах, хвостах и концентратах;
- контроль качества товарных концентратов для предварительной оценки их сортности и формирования отгружаемых партий;
- контроль технологических процессов обогащения с целью оперативного управления;
- контроль исследовательских проб с целью совершенствования технологии добычи и переработки минерального сырья.

## Особенности АСАК-РИВС

Фирменная АСАК-РИВС состоит из двух подсистем: автоматической системы опробования пульповых продуктов (АСОПП) и аналитического комплекса (АК), представляя собой интегрированную совокупность оборудования и программно-технических комплексов, включающих технические, программные, методико-

В статье основное внимание уделено аппаратной, алгоритмической и методологической составляющим автоматической системы аналитического контроля горно-обогатительного производства. Проведено сопоставление пределов обнаружения для различных рентгеновских анализаторов. Рассмотрен вопрос о необходимой и достаточной дискретности опробования и аналитического контроля. Отмечены основные преимущества выполненных разработок.

**Ключевые слова:** автоматическая система аналитического контроля, рентгенофлуоресцентный анализатор, аналитический комплекс, аналитические параметры, дискретность опробования, продукты обогащения руд.

**DOI:** [dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.11.13](https://doi.org/10.17580/gzh.2016.11.13)

математические и метрологические средства, необходимые для проведения представительного опробования и достоверного экспресс-анализа технологических продуктов в автоматизированном или полностью автоматическом режимах. Обобщенная структура АСАК-РИВС представлена на **рис. 1**.

АСОПП является системой, распределенной по всему флотационному переделу обогатительной фабрики. Данная система реализует функции отбора, доставки и подготовки представительных проб для определения одной или нескольких характеристик вещественного состава контролируемых продуктов. Подробное описание АСОПП представлено в статье, опубликованной в данном номере «Горного журнала». Следует особо подчеркнуть, что без представительного опробования [2, 3] невозможно получить достоверные результаты аналитического контроля.

АК представляет собой сложную централизованную систему, которая, как правило, располагается в рентгеноспектральной экспресс-лаборатории (РСЭЛ). АК предназначен для проведения экспресс-анализа проб, доставленных и подготовленных с помощью АСОПП, с целью определения итоговой аналитической информации — достоверных результатов по содержаниям определяемых элементов. Основу АК составляют рентгенофлуоресцентные анализаторы порошковых и пульповых проб, а все остальные звенья (оборудование, программно-технические средства, различные виды обеспечения комплекса) при несомненной их важности рассматриваются как инфраструктура, способствующая получению необходимой аналитической информации. Наиболее сложными с позиции создания являются автоматические пульповые анализаторы. На **рис. 2** представлен созданный Аналитическим центром НПО «РИВС» аналитический комплекс на базе автоматического многоцветного рентгенофлуоресцентного анализатора пульп.

АСАК-РИВС = АСОПП + АК

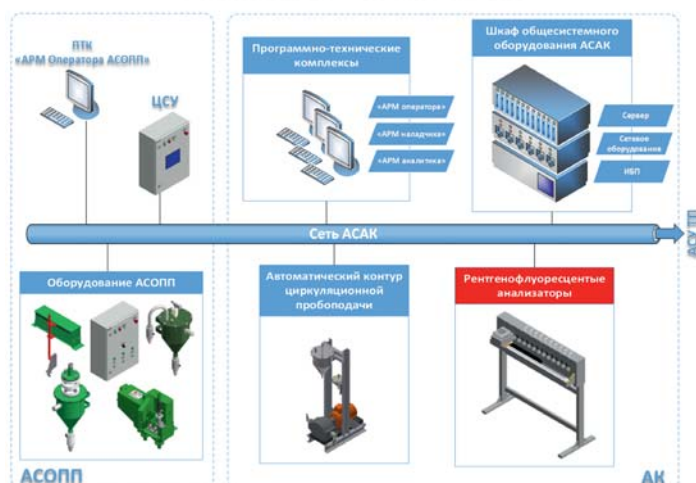


Рис. 1 Обобщенная структурная схема АСАК-РИВС



Рис. 2. Пультевой АК в испытательно-демонстрационной лаборатории:

- 1 — автоматический рентгенофлуоресцентный анализатор РФА-РИВС;
- 2 — центральная станция управления АСАК-РИВС;
- 3 — шкаф общесистемного оборудования АСАК-РИВС

Комплексный подход компании к решению проблемы обогащения минерального сырья естественным образом предопределили особенности построения фирменной АСАК-РИВС и ее компонентов. Так, в рамках стратегии компании необходимость определения содержания элементов в продуктах обогащения различных руд обусловили выбор энергодисперсионного способа рентгенофлуоресцентного анализа [4, 5] для создания фирменного анализатора. Современные полупроводниковые детекторы в сочетании с новейшими многоканальными амплитудными анализаторами импульсов позволяют регистрировать одновременно все определяемые элементы при высокой разрешающей способности.

В **таблице** приведено сопоставление пределов обнаружения разработанного фирменного рентгенофлуоресцентного анализатора РФА-РИВС с лучшими энергодисперсионными и волнодисперсионными анализаторами отечественного и зарубежного производства.

Оценка пределов обнаружения служит одним из основных и объективных критериев сопоставления аналитических возможностей различных анализаторов. Следует отметить, что в случае анализа порошковых и пульповых проб продуктов обогащения руд приведенные в таблице значения возрастают в среднем на порядок, что обусловлено гетерогенностью твердой фазы и ее содержанием в пульпе [8]. На практике это означает, что достоверно определить элементы с концентрацией, ниже или равной пределу обнаружения, невозможно; можно в лучшем случае лишь детектировать их наличие в пробе.

Необходимость решения задачи достоверного анализа широкой номенклатуры пульповых продуктов в рамках одного анализатора обусловила его многокуветную конструкцию, позволяющую избежать взаимного заражения анализируемых проб разнородных продуктов. Конструкция анализатора имеет уникальную фирменную систему выравнивания, позволяющую добиваться единой геометрии измерений для всех кювет.

На **рис. 3** приведены результаты измерений стандартного образца стали SS 316 в разных кюветах фирменного анализатора РФА-РИВС.

Значения интенсивностей измеренных элементов, содержащихся в стандартном образце стали SS 316 (Mn, Fe, Co, Ni, Mo) в разных кюветах анализатора, попадают в интервал  $\pm 3\sigma$ . Данные результаты свидетельствуют о высокой эффективности фирменной системы выравнивания кювет. Единая геометрия кювет на многокуветном анализаторе позволяет добиться одинаковых условий анализа для всех продуктов, словно каждый продукт анализируется в одной и той же кювете. Это предопределяет возможность использования единого уравнения связи для всех пульповых продуктов, что в совокупности с другими унифицированными решениями [9] программно-алгоритмического, методико-математического и метрологического обеспечения ускоряет ввод в эксплуатацию фирменного АК на горно-обогатительных предприятиях.

Авторы отмечают, что только комплексное понимание процессов опробования и аналитического контроля позволяет успешно решать задачи обеспечения представительности и достоверности важнейших для технологических процессов обогащения руд результатов, которые напрямую влияют на показатели флотационного извлечения полезных компонентов и в конечном итоге — на прибыль предприятия.

Одной из важнейших характеристик АСАК является необходимая и достаточная дискретность опробования и аналитического контроля. Для решения данного вопроса используются различные подходы. Например, подход, основанный на классической теореме Котельникова, описанный и примененный к процессу флотации В. Н. Сахарниковым [10]. Несколько другой подход, также ориентированный на получение качественной интерполяции результатов между замерами, описан в Э. Л. Ицковичем в [11] и применен В. В. Несмеловым [12] и Е. Я. Овчаренко [13]. Данный подход базируется на анализе времени спада автокорреляционной функции (АКФ), поскольку она описывает связь состояний процесса во времени и наличие периодичностей в процессе и предполагает периодичность опробований через интервалы, не превышающие время спада АКФ. Вместе с тем реальный процесс флотации далеко не так стабилен, как процессы производства, в которых свойства сырья высокостабильны, а стохастичность вызвана чисто технологическими особенностями. Свойства пульпы, как свиде-

**Сравнение пределов обнаружения элементов**

№ п. п.	Наименование оборудования, производитель, страна.	Мощность РТ, Вт	Анод и режимы РТ	Элемент, ppm (10 <sup>-4</sup> %)				
				Cu	Zn	Mo	Ni	Fe
1	РФА-РИВС, НПО «РИВС», Россия	4	Ag (40 кВ, 70 мкА)	2	2	4	2	5
2	S2 RANGER, «BRUKER», Германия	50	Rh (40 кВ, 200 мкА)	3	5	—	3	4
3	СРМ-13, НПО «Буревестник», Россия	3500	Pd (50 кВ, 40 мА)	2	—	—	2	5
4	АР-31-М, НПП «Буревестник», Россия	3500	Ag (40 кВ, 30 мА)	2	—	3	—	5
5	QuantX, ThermoNORAN, США	50	Rh (32 кВ, 20 мкА)	4	—	4	—	4
6	Погружной зонд, Thermo Gamma-Metrics, США	<sup>109</sup> Cd с HT = 1,26 года [6]	—	122	—	8	—	404

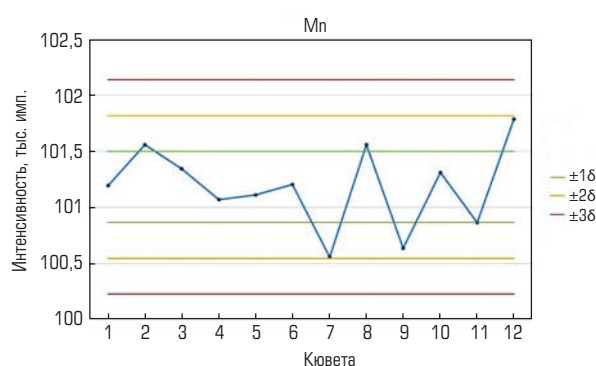
Примечание. Оценка пределов обнаружения анализаторов, приведенных в п. 2–6, получена по результатам аудитов различных горно-обогатительных производств на основе измерений контрольных образцов — моделей растворов (1 % элемента в H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>); РТ — рентгеновская трубка; HT (Half Time) — период полураспада радиоактивного источника [7].

тельствует опыт, даже при отсутствии каких-либо внешних воздействий варьируются в весьма широких пределах. Это значит, что при использовании данных АСАК для анализа состояния технологического процесса и/или выработки каких-либо управляющих сигналов средствами АСУТП, равно как и для составления технологического баланса, необходимо пользоваться усредненными данными. Это усреднение может выполняться либо математически (при периоде опробований меньше периода естественной вариабельности процесса), либо, что авторам представляется более достоверным и менее затратным, — физически путем накопления пробы. Кроме того, периодичность опробований разумно соотносить с постоянной времени технологического процесса, которая при флотации, как правило, измеряется часами.

Для оценки характерных значений периодичности опробований по имеющимся данным опробования пульповых продуктов обогащения полиметаллической руды, проводившегося с интервалом в 5 мин, выполнен статистический анализ на основе построения АКФ. Совместный анализ времени спада АКФ для выборок с различными временными интервалами и полученных линейных аппроксимаций показал, что период опробования для разных химических элементов исследованных пульповых продуктов находится в пределах 20–60 мин. Это означает, что в качестве периода опробования и аналитического контроля следует принимать минимальное из этих значений — 20 мин. Увеличение промежутка времени приведет к росту ошибки аппроксимации, а уменьшение — к росту финансовых затрат и необходимости математического усреднения результатов анализа.

Кроме некоторых особенностей, описанных выше, фирменная АСАК-РИВС обладает рядом преимуществ перед аналогичными системами [1]:

- обеспечение гарантированной представительности процесса опробования и высокой достоверности проведения экспрессного элементного анализа проб технологических продуктов благодаря применению фирменного системного подхода;
- комплексный подход к построению системы с учетом задач потребителя;
- радиационная безопасность эксплуатации за счет использования маломощных рентгеновских трубок, позволяющих исключить необходимость в радиационном контроле и учете, а также исключить необходимость получения специального разрешения (лицензии) [14, 15] на право работы с аналитическим комплексом;



**Рис. 3. График измерений образца стали SS 316 на примере элемента Mn в разных кюветах**

- экономичность системы за счет уменьшения энергопотребления, уменьшения массогабаритных характеристик, исключения повышенных требований к рабочему помещению (объему, площади) аналитического комплекса;
- высокая надежность применяемого современного оборудования, электронных блоков и программно-технических средств;
- простота и удобство эксплуатации всех компонентов системы за счет использования фирменных унифицированных решений в программно-техническом, методико-математическом и метрологическом обеспечении;
- возможность удаленного квалифицированного авторского сопровождения компонентов системы в период гарантийного и постгарантийного обслуживания.

Таким образом, разработанные и запатентованные РФА-РИВС и АСАК-РИВС отвечают всем требованиям, предъявляемым к аналогичным рентгенофлуоресцентным аналитическим системам [16], а также соответствуют потребностям современных горно-обогатительных предприятий.

**Заключение**

Впервые в отечественной практике в рамках одного предприятия — НПО «РИВС» решается полный спектр задач по созданию и внедрению современной РФ-системы — полномасштабной АСАК пульповых продуктов для горно-обогатительных предприя-

тий, включая: проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области создания перспективных систем опробования и аналитического контроля; разработку, изготовление, поставку, внедрение и авторское сопровождение компонентов АСОПП; разработку, изготовление, поставку, внедрение и авторское сопровождение компонентов АК; интегрирование АСОПП и АК с необходимой инфраструктурой в АСАК; создание всех

типов обеспечения для соответствующих подсистем и АСАК в целом: программно-технического, методико-математического и метрологического.

Опыт и достижения специалистов Аналитического центра НПО «РИВС» позволяют комплексно решать сложные проблемы аналитического контроля горно-обогатительных производств на высоком научно-техническом уровне.

#### Библиографический список

1. Зимин А. В., Трушин А. А., Бондаренко А. В. Комплексный подход НПО «РИВС» к автоматизации горно-обогатительных предприятий // *Глобус*. 2015. № 5. С. 46–48
2. Козин В. З. Опробование минерального сырья. — Екатеринбург : Изд-во УГТУ, 2011. — 316 с.
3. Карпов Ю. А., Савостин А. П. Методы пробоотбора и пробоподготовки. — М. : БИНОМ, 2015. — 246 с.
4. Haschke M. Laboratory Micro-X-Ray Fluorescence Spectroscopy. Instrumentation and Applications. — Springer, 2014. — 356 p.
5. Gullayanon K. A calibration methodology for energy dispersive X-Ray fluorescence measurements based upon synthetically generated reference spectra. Georgia Institute of Technology, 2011. — 223 p.
6. Handbook of Radioactivity Analysis. Third Edition / Ed. M. F. L'Annunziata — Academic Press, 2012. — 1379 p.
7. Система неразрушающего контроля. Виды (методы) и технология неразрушающего контроля. Термины и определения : справочное пособие. — М.: ГУП «НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. Сер. 28. Вып. 4. — 428 с.
8. Бондаренко А. В. Использование рентгеновского комплекса СРМ-13-ЭВМ М-6000 для анализа продуктов обогащения медно-никелевых руд // *Аппаратура и методы рентгеновского анализа*. — Л. : Машиностроение. 1984. Вып. 32. С. 99–104.

9. Nikandrov I. S., Bondarenko A. V., Andreev D. S. X-ray fluorescent unit for the express analysis of pulp slurry // *Eurasian Mining*. 2015. № 1. P. 44–48.
10. Сахарников В. Н. К вопросу определения дискретности автоматического контроля содержания металла в АСУТП // *Разработка и внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами на обогатительных фабриках цветной металлургии* : тр. ВНИИПИ «Механобр». — Ленинград, 1977. Вып. 146. С. 47–52.
11. Ицкович Э. Л. Применение вычислительных машин в исследованиях и управлении производством. — М. : Энергия, 1975. — 409 с.
12. Несмелов В. В., Кузнецов А. Ф., Чуров О. П. Программно-алгоритмическое обеспечение системы пробоотбора и пробоподготовки на базе вычислительного комплекса КМ 2101 // *Разработка и внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами на обогатительных фабриках цветной металлургии* : труды ВНИИПИ «Механобр». — Ленинград, 1977. Вып. 146. С. 39–46.
13. Овчаренко Е. Я. Построение автоматизированных систем аналитического контроля процессов обогащения. — М. : Недра, 1987. — 158 с.
14. ГОСТ 54795-2011. Контроль неразрушающий. Квалификация и сертификация персонала. Основные требования. — М. : Стандартинформ, 2014. — 24 с.
15. ASNT SNT-TC-1A-201. Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing. ASNT, 2011. — 41 p.
16. Аналитическая химия. Проблемы и подходы : в 2 т. — М. : Мир, 2004. Т. 2 / ред. П. Кельнер, Ж.-М. Мерме, М. Отто, Г. М. Видмер. — 726 с. **РЖ**

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 11, pp. 71–74  
DOI: dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.11.13

#### Features of the proprietary system of automatic analytical control ASAK-RIVS for mining and processing plants

##### Information about authors

**A. V. Bondarenko**<sup>1</sup>, Head of Analytical Center, Candidate of Engineering Sciences, A\_Bondarenko@rivs.ru  
**I. S. Nikandrov**<sup>1</sup>, Head of System Engineering Sector of Analytical Center  
**D. S. Andreev**<sup>1</sup>, Head of Technical and Mathematical Research Sector of Analytical Center

<sup>1</sup> IVS Joint Venture, Saint-Petersburg, Russia

##### Abstract

The authors present the objective conditions for creation of the proprietary automatic analytical control system ASAK-RIVS for mining and processing industry, including pulp assaying and analytical units. The composition and structure of the equipment is described. It is emphasized that design of the automatic X-ray fluorescence pulp analyzer as the backbone of the analytical unit is challenging. At the same time, this type analyzer is the highest-needed sensor of element composition for monitoring and control of process stages in ore beneficiation.

The authors specify features of the proprietary multi-cell pulp analyzer and compare its detection limits with the performance of different X-ray fluorescence powder and pulp analyzers. It is highlighted in the article that the analytical unit based on the X-ray fluorescence pulp analyzer (RFA-RIVS) has been designed based on the unified programming, technical, mathematical and metrological decisions. Also, a validated approach to assessment of necessary and sufficient sensitivity of assaying and operating analytical control is presented.

The advantages of ASAK-RIVS over the similar analytical systems are identified. Finally, it is concluded on conformity of the designed and patented RFA-RIVS and ASAK-RIVS systems with the modern requirements imposed on the same systems of instrumental express-analysis.

**Keywords:** automatic analytical control system, X-ray fluorescence analyzer, analytical unit, test parameters, assaying sensitivity, concentrates.

##### References

1. Zimin A. V., Trushin A. A., Bondarenko A. V. Complex approach of the Scientific and Production Association «RIVS» to the automation of mining-concentration enterprises. *Globus*. 2015. No. 5. pp. 46–48.

2. Kozin V. Z. Sampling of mineral raw materials. Ekaterinburg : Publishing House of Ural State Mining University, 2011. 316 p.
3. Karpov Yu. A., Savostin A. P. Methods of sample cutting and sample preparation. Moscow : BINOM, 2015. 246 p.
4. Haschke M. Laboratory Micro-X-Ray Fluorescence Spectroscopy. Instrumentation and Applications. Springer, 2014. 356 p.
5. Gullayanon K. A calibration methodology for energy dispersive X-Ray fluorescence measurements based upon synthetically generated reference spectra. Georgia Institute of Technology, 2011. 223 p.
6. Handbook of Radioactivity Analysis. Third Edition. Ed. M. F. L'Annunziata. Academic Press, 2012. 1379 p.
7. NDT system. Types (methods) and technology of non-destructive control. Terms and definitions : reference book. Moscow : Scientific and Technical Center for Safety in Industry (Federal Mining and Industrial Inspection in Russia), 2003. Series 28, Iss. 4. 428 p. (in Russian)
8. Bondarenko A. V. Using X-ray complex SRM-13-EVM M-6000 for the analysis of copper-nickel ore concentration products. Units and methods of X-ray analysis. Leningrad: Mashinostroenie, 1984. Iss. 32. pp. 99–104.
9. Nikandrov I. S., Bondarenko A. V., Andreev D. S. X-ray fluorescent unit for the express analysis of pulp slurry. *Eurasian Mining*. 2015. No. 1. pp. 44–48.
10. Sakharnikov V. N. To the question of definition of discreteness of automatic control of metal content in process control system. *Development and introduction of process control systems in non-ferrous concentration plants : proceedings of «Mekhanobr» Institute*. Leningrad, 1977. Iss. 146. pp. 47–52.
11. Itskovich E. L. Application of computing machinery in investigations and industrial control. Moscow : Energiya, 1975. 409 p.
12. Nesmelov V. V., Kuznetsov A. F., Churov O. P. Software-algorithm provision of the system of sample cutting and sample supply on the basis of computing complex KM 2101. *Development and introduction of process control systems in non-ferrous concentration plants : proceedings of «Mekhanobr» Institute*. Leningrad, 1977. Iss. 146. pp. 39–46.
13. Ovcharenko E. Ya. Design of automated systems of analytical control of concentration processes. Moscow : Nedra, 1987. 158 p.
14. State Standard GOST 54795-2011. Non-destructive testing. Qualification and certification of personnel. General principles. Moscow : Standartinform, 2014. 24 p. (in Russian)
15. ASNT SNT-TC-1A-201. Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing. ASNT. 2011. 41 p.
16. R. Keller, G.-M. Mermet, Matthias Otto, M. Widmer. Analytical Chemistry: A Modern Approach to Analytical Science: in two volumes. Moscow : Mir, 2004. Vol. 2. 726 p.