

УДК 004.896:622.7

# СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОПРОБОВАНИЯ ПУЛЬПОВЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**А. В. БОНДАРЕНКО**<sup>1</sup>, руководитель Аналитического центра, зам. генерального директора, канд. техн. наук, A\_Bondarenko@rivs.ru  
**П. А. ЗАХАРОВ**<sup>1</sup>, руководитель сектора опытно-конструкторских работ Аналитического центра  
**Е. С. ШЕВЕЛЁВ**<sup>1</sup>, руководитель сектора технического сопровождения разработок Аналитического центра

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

## Введение

Значение оперативного опробования и экспрессного аналитического контроля технологических продуктов на горно-обогатительных предприятиях трудно переоценить, так как данные операции являются основой комплексной системы управления качеством продукции. Своевременное реагирование на изменение параметров технологического процесса и его тонкая настройка с целью оптимизации для улучшения целевых показателей возможны только при наличии достоверной и оперативной обратной связи. При осуществлении контроля и управлении процессом флотационного обогащения руд роль такой обратной связи выполняет автоматическая система аналитического контроля (АСАК), включающая в качестве подсистем автоматическую систему опробования пульповых продуктов (АСОПП) и аналитический комплекс (АК) на основе, как правило, рентгенофлуоресцентных (РФ) анализаторов.

Укрупненно работу АСАК можно представить в виде последовательности автоматических операций по отбору точечных пульповых проб, их накопления с формированием объединенной (суммарной) пробы и ее пневмодоставке, как правило, в рентгеноспектральную экспресс-лабораторию, подготовке пробы к анализу (указанная последовательность операций авторами статьи называется «опробованием») и проведению собственно анализа. При этом совершенно очевидно, что погрешности, допущенные на этапах отбора и подготовки проб, не могут быть в дальнейшем устранены даже самыми совершенными методами и техническими средствами анализа.

В настоящей статье рассмотрен подход НПО «РИВС» к созданию автоматической системы опробования пульповых продуктов для горно-обогатительных предприятий в рамках реализации общей концепции построения фирменной АСАК [1] с учетом теории и практики опробования и контроля процессов обогащения руд [2, 3].

## Особенности процесса опробования

Рассматривая процесс опробования, следует прежде всего отметить, что его главной характеристикой является представительность. Под представительным опробованием понимается опробо-

Изложены ключевые принципы создания автоматической системы опробования пульповых продуктов для горно-обогатительных предприятий. Рассмотрены вопросы представительности отбора точечных и формирования объединенных (накопленных) проб, а также необходимые операции их подготовки к дальнейшему анализу. Приведены особенности реализации отдельных этапов опробования на примере конкретного оборудования.

**Ключевые слова:** опробование пульповых продуктов, пробоотбор, представительность пробы, пробоподготовка, аналитический контроль, автоматические системы.

**DOI:** dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.11.14

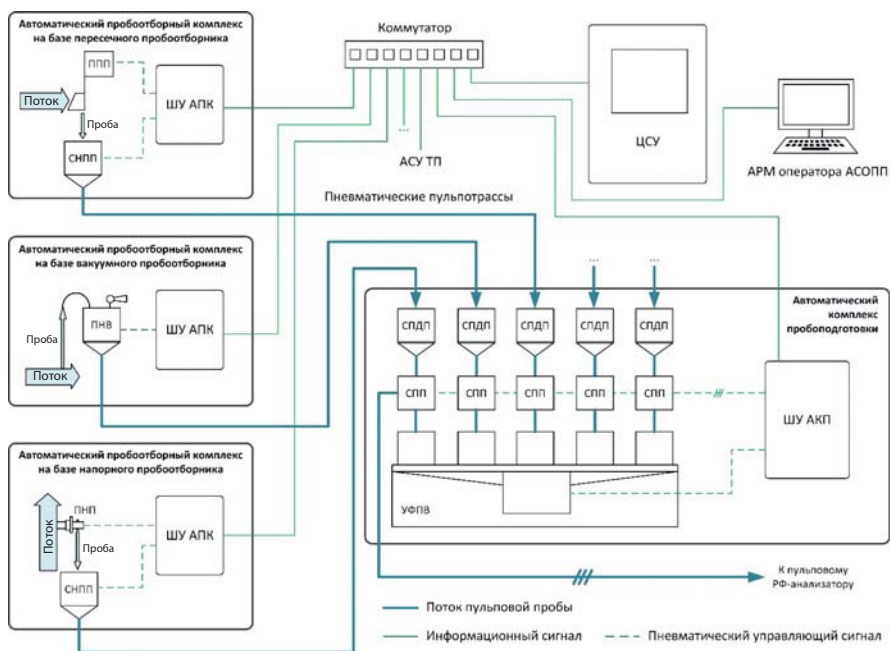
вание, случайная погрешность которого попадает в доверительный интервал, а систематическая погрешность стремится к нулю [2].

Двумя главнейшими задачами при создании любой системы опробования являются повышение представительности, т. е. максимальное снижение систематической погрешности, и улучшение эксплуатационных характеристик системы, таких, как надежность, простота, стоимость эксплуатации и обслуживания, в сравнении с имеющимися аналогами.

При современном уровне развития средств автоматизации стало возможным полностью отказаться от ручных операций на этапе опробования, допуская их только в исключительных случаях, например для разовых опробований в исследовательских целях. Главным преимуществом автоматизации данного процесса является значительное улучшение представительности опробования за счет достижения лучшей повторяемости механических операций, а также четкого соблюдения методики и расписания опробования, что полностью исключает влияние человеческого фактора на представительность. Действительно, выполнить вручную отбор, накопление, доставку и фильтрацию проб без нарушения требований [2], обеспечивающих в данном случае представительность, крайне затруднительно.

## Структура АСОПП

В течение нескольких последних лет в Аналитическом центре НПО «РИВС» проводились исследовательские и опытно-конструкторские работы по разработке, испытанию, совершенствованию и внедрению на ряде российских и зарубежных предприятий широкой номенклатуры автоматических устройств для отбора пульповых проб, их накопления и пневмодоставки, деаэрации, сокращения и фильтрации, охватывающих весь цикл технологических операций, понимаемых авторами под опробованием. Как отмечено в [4], комплекс данного оборудования составляет еди-



**Рис. 1. Структурная схема АСОПП:**  
 ППП — пробоотборник пересечной с пневмоприводом; СНПП — станция накопления и пневмоотправки проб; ПНВ — пробоотборник-накопитель вакуумный; ПНП — пробоотборник напорный с пневмоприводом; СПДП — станция приема и деаэрации проб; СПП — сократитель проб с пневмоприводом; УФПВ — устройство фильтрации проб вакуумное; ШУ АПК — шкаф управления АПК; ШУ АКП — шкаф управления АКП; ЦСУ — центральная станция управления, АРМ оператора АСОПП — автоматизированное рабочее место оператора АСОПП; Поток — опробуемый технологический поток пульпы

ную систему, имеющую название «Автоматическая система опробования пульповых продуктов» (АСОПП).

Данная система является сложной, распределена по всему флотационному переделу горно-обогательного предприятия и состоит из самостоятельных автоматических комплексов двух типов. Первый тип — это автоматические пробоотборные комплексы (АПК), осуществляющие отбор разовых проб продуктов из технологического потока, накопление объединенной (суммарной) пробы и ее отправку по трассам пневмотранспортировки к месту подготовки для проведения анализа. Второй тип — это автоматические комплексы пробоподготовки (АКП), обеспечивающие прием, деаэрацию, представительное сокращение и вакуумную фильтрацию пульповых проб. Структура АСОПП представлена на рис. 1.

### Основные компоненты АСОПП

Автоматический пробоотборный комплекс является важнейшим узлом АСОПП, именно от его работы в значительной степени зависит представительность отобранной пробы, что особенно важно при последующем анализе балансовых проб [5]. Основным элементом АПК является пробоотборник. В состав АПК также входят станция накопления и пневмоотправки проб и шкаф управления. В НПО «РИВС» разработаны три типа АПК на базе пересечного, вакуумного и напорного пробоотборников. На рис. 2 представлены все три типа пробоотборников, установленные на испытательно-демонстрационном стенде Аналитического центра НПО «РИВС».

Автоматический пробоотборный комплекс на базе пересечного пробоотборника соответствует требованиям ГОСТ 14180-80 [6] и может использоваться как для опробования балансовых точек контроля [7], участвующих в расчетах технологических и товарных балансов предприятия, так и для оперативного опробования, целью которого является поддержание и улучшение эффек-

тивности технологического процесса. Основой данного комплекса является пробоотборник пересечной с пневмоприводом (ППП), в конструкции которого использованы оригинальные запатентованные технические решения, позволяющие значительно повысить надежность эксплуатации пробоотборника и уменьшить трудоемкость его обслуживания по сравнению с существующими аналогами. В качестве движущего механизма использован бесштоковый пневмоцилиндр в грязезащищенном исполнении. В конструкции корпуса пробоотборника применены резиновые уплотнения и грязесъемники, исключающие возможность попадания пыли, влаги и пульпы внутрь.

Отбор проб пересечным пробоотборником осуществляется из самотечных потоков пульп. Данный пробоотборник устанавливается на распределительную коробку, которая создает перепад потока пульпы, необходимый для пересечения ножом пробоотборника всего сечения потока. Только такой вид пробоотбора может гарантировать наилучшую представительность, так как при пересечении всего потока нивелируется влияние сегрегации пульпы [8]. За счет плавной регулировки ширины щели пробоотборного ножа, скорости его перемещения, выбора интервалов времени между отсечками (отборами точечных проб) и их оптимального числа можно добиться получения накопленной (объединенной или суммарной) пробы с требуемой представительностью.

Станция накопления и пневмоотправки проб (СНПП), в которой исключен перелив, заполняется до датчика уровня и позволяет доставлять пробу объемом до 7 л без нарушения ее целостности, разбавления водой или излишних потерь при пневмотранспортировании к месту анализа.

Автоматический пробоотборный комплекс на базе вакуумного пробоотборника осуществляет отбор проб из самотечных трубопроводов путем вакуумного забора пробы непосредственно из трубы. Такой вид пробоотбора применяется в случаях, когда нет возможности или целесообразности установки пересечного пробоот-

борника, и используется, как правило, для оперативного контроля и управления процессами обогащения. Для установки вакуумного пробоотборника необходимо подобрать участок трубы с максимальным турбулентным течением потока, обеспечивающим хорошее перемешивание. Врезку заборного штуцера в большинстве случаев возможно осуществить даже без остановки потока, непосредственно в процессе работы предприятия. В качестве генератора вакуума применяется вакуумный эжектор, создающий требуемое разрежение при подаче на него сжатого воздуха. Эжектор целиком выполнен из нержавеющей стали и устойчив к парам агрессивных реагентов, применяемых в процессе флотации. Одна из разработанных модификаций вакуумного пробоотборника благодаря своей оригинальной конструкции позволяет отказаться от использования станции накопления и пневмоотправки проб, осуществляя доставку при помощи самого пробоотборника, названного пробоотборник-накопитель вакуумный (ПНВ).

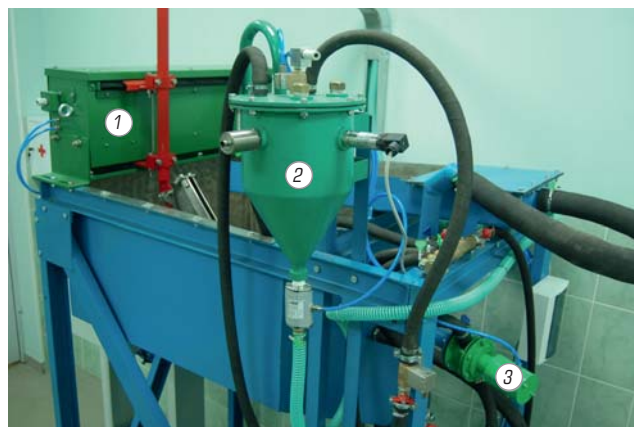
Автоматический пробоотборный комплекс на базе напорного пробоотборника с пневмоприводом (ПНП) предназначен для опробования пульповых продуктов на напорных восходящих трубопроводах. Пробоотборник работает по принципу отсечного клапана, исполнительным механизмом которого является пневмоцилиндр. Пробоотборные комплексы на базе напорного пробоотборника, как правило, применяются для оперативного контроля. Точечные пробы поступают в станцию накопления и пневмоотправки проб, как и в случае АПК на основе пересечного пробоотборника.

Для всех типов АПК предусмотрена автоматическая промывка всех частей устройств, контактирующих с пульпой, после завершения каждого цикла опробования. Это позволяет исключить возможность забивок и зарастания пульпой узких проходных отверстий и пневматических пульпотрасс, а также сводит к минимуму «заражение» пробы остатками пульпы от предыдущего цикла опробования [9].

Все исполнительные механизмы АПК являются пневматическими. Используются комплектующие от ведущих мировых производителей, обеспечивающие высокую работоспособность в тяжелых условиях эксплуатации. В сочетании с ударопрочным исполнением и хорошей пыле-, влаго- и грязезащитой корпусов разработанных устройств фактически обеспечивается надежное функционирование системы в круглосуточном режиме при минимальном контроле со стороны обслуживающего персонала.

Автоматизированный комплекс пробоподготовки (АКП), изображенный на **рис. 3**, состоит из станций приема и деаэрации проб 1 (СПДП), динамических сократителей проб с пневмоприводом 2 (СПП), устройств фильтрации проб вакуумных 3 (УФПВ) и шкафа управления. Весь комплекс имеет единую модульную конструкцию.

Проба, поступившая в лабораторию по пневмотрассе, попадает в СПДП, которая предназначена для успокоения потока пульпы, отделения от пробы сжатого воздуха и крупных инородных тел и направления ее самотеком на дальнейшую пробоподготовку. Конструкция станции позволяет легко и быстро прочищать ее в случае возникновения засоров. Для отделения инородных включений предусмотрена крупноячеистая сетка, установ-



**Рис. 2. Пробоотборники трех типов:**

1 — пересечной с пневмоприводом; 2 — вакуумный пробоотборник-накопитель; 3 — напорный с пневмоприводом



**Рис. 3. Автоматический комплекс пробоподготовки**

ленная в специальной быстросъемной кассете. Геометрия внутренних полостей станции и тангенциальный ввод обеспечивают быстрое успокоение потока пульпы и удаление из нее пузырьков воздуха.

Из станции приема и деаэрации проба поступает в динамический сократитель проб, который предназначен для ее представительного деления на несколько потоков для различных исследований. Один или два потока малого объема могут быть направлены на дальнейшую фильтрацию с целью приготовления порошковых проб в виде насыпок или таблеток для дальнейших испытаний, в том числе проведения химического или порошкового РФ-анализа [10, 11]. При формировании этих потоков важно добиться стабилизации их объема таким образом, чтобы его было достаточно для проведения различных исследований при сохранении представительности, и вместе с тем не превысить мак-



**Рис. 4. Типовые шкафы управления и ЦСУ**

симальный эффективный объем для фильтрации пробы. Для решения этой задачи в СПП предусмотрена возможность плавной регулировки ширины щели ножа и изменения скорости хода штуцера, подающего пульповую пробу на сокращение.

Оригинальная конструкция СПП полностью исключает возможность попадания пульпы на шток пневмопривода, благодаря чему надежность сократителя, разработанного в НПО «РИВС», значительно выше аналогичных динамических сократителей и сопоставима с надежностью статических сократителей, но при обеспечении более высокой представительности сокращенной пробы.

Основной объем (4–5 л) поступившей по пульпотрассе пробы после сократителя направляется в автоматический комплекс циркуляционной пробоподачи (АКЦП), являющийся переходным звеном между АСОПП и пульповым РФ-анализатором. Данный комплекс обеспечивает тщательное перемешивание и непрерывную циркуляцию измеряемой пульповой пробы через проточную кювету РФ-анализатора в течение необходимого времени измерения.

Реализованная в АКЦП возможность проведения измерений в проточной кювете под разряжением путем использования разработанной и запатентованной системы циркуляции на основе перистальтического насоса позволяет избежать попадания пульпы на спектрометрический блок анализатора при прорыве пленки кюветы. Схема и геометрия циркуляционного контура обеспечивают высокую воспроизводимость результатов измерений [12] и практически его полную промывку после окончания анализа пульповой пробы.

Вакуумное устройство фильтрации проб имеет классическую конструкцию с приемными стаканами с сеткой снизу, отличающуюся простотой, высокой надежностью и эргономичностью. Вакуум прикладывается к единому объему для фильтрата, откуда распределяется на осушительные стаканы. Реализован автоматический сброс фильтрата в дренаж по мере заполнения приемной емкости до датчика уровня.

Управление всем оборудованием АСОПП осуществляется централизованно с использованием центральной станции управления (ЦСУ) и местных шкафов управления, объединенных в единую информационную сеть. Примеры типовых шкафов и центральной

станции управления приведены на **рис. 4**. ЦСУ служит для мониторинга и корректировки циклограммы функционирования оборудования АСОПП по всем контролируемым точкам, число которых может варьироваться в характерном диапазоне от 10 до 50.

Возможны разные варианты поставки АСОПП на предприятие, например в качестве самостоятельной системы или подсистемы в составе АСАК, включающей аналитические комплексы на основе пульповых РФ-анализаторов. В каждом из этих случаев принцип управления оборудованием АСОПП имеет свои особенности.

В случае функционирования АСОПП как самостоятельной системы ЦСУ управляет оборудованием отбора, доставки и подготовки проб и реализует циклограмму опробования, удобную для подготовки порошковых проб к анализу. Оперативная аналитическая информация для технологического персонала формируется на основе порошкового РФ-анализа, при котором суммарная (опробование + анализ) дискретность контроля составляет, как правило, 40–60 мин в зависимости от особенностей предприятия.

При работе АСОПП как подсистемы АСАК пульповая проба должна пройти все этапы: от отбора и транспортирования до ее подготовки к измерениям на пульповом РФ-анализаторе согласно алгоритму и временной циклограмме его функционирования. В данном случае ЦСУ не только управляет действием всех устройств АСОПП, но и синхронизирует работу одного или нескольких пульповых РФ-анализаторов, входящих в состав аналитического комплекса. При этом суммарная дискретность контроля может составлять характерные для флотационных процессов 15–30 мин.

На лицевой стороне ЦСУ расположен графический дисплей для настройки АСОПП и мониторинга ее работы. Кроме того, для управления системой предусмотрено автоматизированное рабочее место оператора АСОПП, представляющее собой персональный компьютер, включенный в информационную сеть АСОПП, с необходимым программным обеспечением. Для удобного управления АСОПП разработан ряд экранов с эргономичным интерфейсом, позволяющим отслеживать все происходящие в системе события и реагировать на них, а также осуществлять настройку. Кроме того, посредством беспроводных интерфейсов широкополосной связи реализована возможность удаленного управления не только АСОПП, но и всей АСАК в целом из любой точки земного шара. Данная функция является незаменимой при оперативном устранении различных сбоев или при проведении профилактических работ на этапах гарантийного и постгарантийного сервисного обслуживания. Специалисты Аналитического центра НПО «РИВС» имеют возможность выполнять диагностику и оказывать помощь при возникновении проблем, не выезжая на объект эксплуатации системы.

Все исполнительные устройства АСОПП управляются соответствующими местными шкафами управления посредством пневматических и электрических сигналов. Для каждого комплекса АКП или АКП предусмотрена возможность как автоматического, так и ручного управления с использованием органов управления на передней панели соответствующих шкафов. Поставке оборудования АСОПП на горно-обогатительные предприя-

тия обязательно предшествует его тщательное комплексное тестирование.

Разработанная АСОПП и отдельные ее комплексы продемонстрировали надежную и эффективную работу на протяжении уже более трех лет при непрерывной и круглосуточной эксплуатации на ряде российских и зарубежных предприятий: ОАО «Гайский ГОК» (Россия); Николаевская обогатительная фабрика (Казахстан); Араратская золотоизвлекательная фабрика (Армения) и Carmen Copper Corporation (Филиппины).

Рассмотренная в статье система в целом и отдельные комплексы сертифицированы. Ключевые узлы и устройства системы запатентованы или находятся в процессе патентования. Схемы организации и алгоритмы проведения многих операций процесса опробования составляют элементы «ноу-хау».

## Заключение

В заключение отметим, что важной особенностью разработанной системы является ее универсальность, т. е. способность успешно решать задачи как технологического оперативного, так и балансового опробования с возможностью формирования различных представительных проб для дальнейших исследований. Кроме того, модульная архитектура системы позволяет внедрять на предприятиях отдельные комплексы, увеличивать число точек опробования, модернизировать отдельные компоненты без нарушения функциональности и целостности системы. Система непрерывно совершенствуется с расширением номенклатуры устройств в соответствии с последними достижениями в области автоматизации и аналитического контроля технологических процессов обогащения руд.

## Библиографический список

1. Бондаренко А. В. Вариант развития автоматических систем аналитического контроля пульпы // Горный журнал. 2010. № 10. С. 75–80.
2. Козин В. З. Опробование минерального сырья. — Екатеринбург : Изд-во УГГУ, 2011. — 316 с.
3. Карпенко Н. В. Опробование и контроль качества продуктов обогащения руд. — М. : Недра, 1987. — 215 с.
4. Зимин А. В., Трушин А. А., Бондаренко А. В. Вектор развития средств и систем автоматизации для горно-обогатительных производств в НПО «РИВС» // Горный журнал. 2014. № 11. С. 91–95.
5. Bepswa P. A. Development of a Heuristic Methodology for Designing Measurement Networks for Precise Metal Accounting. Department of Chemical Engineering University of Cape Town, 2015. 209 p.
6. ГОСТ 14180-80. Руды и концентраты цветных металлов. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения влаги. — М. : Стандартинформ, 2010. — 20 с.
7. Johnston Q. R., Johns J., Sterk R. Optimisation of metallurgical plant sampling procedures at the Macraes gold mine // AusIMM New Zealand Branch Annual Conference. 2015. P. 181–193.
8. Spangenberg I. C., Minnitt R. C. A. An overview of sampling best practice in African mining // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2014. Vol. 114. No. 1. P. 91–102.
9. Gaylard P. G., Randolph N. G., Wortley C. M. G. Metal accounting in the platinum industry: how effective is it? / The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Platinum. 2012. P. 673–694.
10. Аналитическая химия. Проблемы и подходы : в 2 т. — М. : Мир, 2004. Т. 2. — 726 с.
11. Zschornack G. Handbook of X-ray data. — Berlin : Springer-Verlag, 2007. — 967 p.
12. 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. P. 44–48. **PK**

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 11, pp. 75–79  
DOI: dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.11.14

### Automatic pulp assay system for mining and processing industry

#### Information about authors

**A. V. Bondarenko**<sup>1</sup>, Head of Analytical Center, Deputy Chief Executive Officer, Candidate of Engineering Sciences, A. Bondarenko@rivs.ru

**P. A. Zakharov**<sup>1</sup>, Head of Development Engineering Sector of Analytical Center

**E. S. Shevelev**<sup>1</sup>, Head of Tech Support/Supervision Sector of Analytical Center

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

#### Abstract

It is hardly possible to overestimate the role of operating assaying and express analytical control being the backbone of the integrated product quality control in mineral mining and processing. The specified mission is to be accomplished by automatic system of analytical control ASAK. Generally, ASAK is a set of two interconnected subsystems: automatic pulp assay unit and analytical unit. The authors emphasize that high reliability of the analytical unit data is only possible with the representative sampling of process flows using the automatic pulp assay systems.

The article describes the approach offered by RIVS Research and Production to designing an automatic system for pulp assay for mining and processing industry in the framework of the general concept of proprietary ASAK, considering theory and practice of ore sampling and processing control. RIVS undertakes research and development engineering aimed at manufacture, improvement and commercial introduction of a wide range of automatic facilities for pulp sampling, accumulation, pneumatic transport, deaeration, thickening and filtering at mining and processing plants. The package of such facilities is included in the automatic pulp assay system that embraces the whole cycle of processes, which are understood as assaying by this article authors. The assay system is highly reliable and multifunctional, and solves various issues of operating and check assay with accumulation of representative samples for different purpose testing. The modular architecture of the system allows introduction of individual modules at a plant, or simple expansion and upgrade of current equipment.

**Keywords:** pulp assay, sampling, sample representativity, sample preparation, analytical control, automatic systems.

#### References

1. Bondarenko A. V. A way of development of automatic analytical pulp control systems. Gornyi Zhurnal. 2010. No. 10. pp. 75–80.
2. Kozin V. Z. Sampling of mineral raw materials. Ekaterinburg : Publishing House of Ural State Mining University, 2011. 316 p.
3. Karpenko N. V. Sampling and quality control of ore concentration products. Moscow : Nedra, 1987. 215 p.
4. Zimin A. V., Trushin A. A., Bondarenko A. V. Vector of development of means and systems of automation for mining-concentration productions at Scientific and Production Association "RIVS". Gornyi Zhurnal. 2014. No. 11. pp. 91–95.
5. Bepswa P. A. Development of a Heuristic Methodology for Designing Measurement Networks for Precise Metal Accounting. Department of Chemical Engineering University of Cape Town, 2015. 209 p.
6. State Standard GOST 14180-80. Ores and concentrates of non-ferrous metals. Methods for sampling and preparation of samples for chemical analysis and determination of moisture. Moscow : Standartinform, 2010. 20 p. (in Russian)
7. Johnston Q. R., Johns J., Sterk R. Optimisation of metallurgical plant sampling procedures at the Macraes gold mine. AusIMM New Zealand Branch Annual Conference. 2015. pp. 181–193.
8. Spangenberg I. C., Minnitt R. C. A. An overview of sampling best practice in African mining. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2014. Vol. 114, No. 1. pp. 91–102.
9. Gaylard P. G., Randolph N. G., Wortley C. M. G. Metal accounting in the platinum industry: how effective is it? The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Platinum, 2012. pp. 673–694.
10. 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.
11. Zschornack G. Handbook of X-ray data. Berlin: Springer-Verlag, 2007. 967 p.
12. 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.