

УДК 622.7.002.5

А. В. ЗИМИН, А. А. ТРУШИН, А. В. БОНДАРЕНКО (ЗАО «НПО «РИВС»)

ВЕКТОР РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ В НПО «РИВС»

Управлять можно только тем, что можно измерить.
Уолтер Шухарт



А. В. ЗИМИН,
генеральный директор,
канд. техн. наук



А. А. ТРУШИН,
директор департамента
автоматизации,
канд. техн. наук



А. В. БОНДАРЕНКО,
руководитель
Аналитического центра,
зам. генерального директора,
канд. техн. наук

Обобщенно рассмотрены основные средства и системы автоматизации, созданные в НПО «РИВС» для горно-обогатительных производств, определены направления их дальнейшего развития.

Ключевые слова: обогатение руд, средства и системы автоматизации, классификация систем управления, автоматические системы опробования и контроля, алгоритмы и программы управления, карты Шухарта, статистическое управление процессами.

Миссия компании НПО «РИВС» состоит в проектировании, строительстве, реконструкции горно-обогатительных производств «под ключ» с разработкой и внедрением новых технологий обогащения полезных ископаемых, с разработкой, изготовлением и поставкой технологического оборудования, средств и систем автоматизации. В связи с этим в НПО «РИВС» активно развиваются соответствующие направления деятельности, включая разработку современных средств и систем автоматизации.

Приведенный эпиграф вполне четко определяет значение низовых средств автоматизации и локальных систем автоматического регулирования (САР). Именно они составляют основу, без которой невозможно говорить о создании эффективных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП), производственными процессами на уровне цехов (АСУПП) и предприятиями в целом (АСУП). По международной классификации эти уровни автоматизации соответствуют понятиям SCADA, MES и ERP-система. Очевидно, что для повышения эффективности применения данные системы должны быть созданы (по крайней мере, для вновь строя-

щихся предприятий) на унифицированных программно-технических средствах (ПТС) и представлять собой единую интегрированную автоматизированную систему управления (ИАСУ).

В статье рассмотрен подход НПО «РИВС» прежде всего к базовым средствам и системам автоматизации производственных процессов в горно-обогатительной отрасли с выбором пути их дальнейшего развития.

Более двух десятилетий назад произошло становление НПО «РИВС» как машиностроительной компании в области обогащения руд [1]. Разрабатываемые компанией флотационные машины требовали собственных средств автоматизации и САР для достижения необходимых технологических показателей. Это естественным образом предопределило первоначальное развитие низовых средств и систем автоматизации.

В качестве основных реализованных разработок, частично рассмотренных в [2], можно отметить следующие.

Разработанные в НПО «РИВС» системы стабилизации уровня пульпы и расхода воздуха АССУП-РВ решали и до настоящего времени успешно решают традиционную задачу регулирования режима работы пневмомеханических машин. Фирменным отличием систем АССУП-РВ от систем известных производителей является применение в качестве измерителей уровня пульпы пьезометрических уровнемеров ППДУ-РИФ.

Как показал опыт применения уровнемеров ППДУ-РИФ, их дополнительным преимуществом, помимо высокой надежности и минимальных затрат на эксплуатацию, является имеющаяся возможность измерения плотности среды, в которую они погружены. Измерение плотности дает возможность повысить точность контроля уровня за счет введения коррекции по ее значению, а также получить дополнительную информацию, используемую для регулирования процесса во флотационных машинах.

Дальнейшее совершенствование систем АССУП-РВ идет по пути как применения более современной элементной базы, так и оптимизации алгоритмов управления, обеспечивающих эффективную работу флотомашин в условиях, в частности, значительных колебаний количественных характеристик питания флотации.

Другим важным направлением наших работ в области автоматизации является дозирование флотореагентов. Установки дозирования реагентов УДР-РИФ позволяют решать следующие задачи:

- задание расхода реагентов вручную с панели оператора или по команде от системы верхнего уровня управления по каждой точке дозирования;
- учет расхода реагентов по каждой точке дозирования;
- диагностику отказа питателей;
- учет запаса реагентов в расходных емкостях и прогнозирование остатка на конец смены.

Разработаны различные варианты исполнения установок, позволяющие осуществлять подачу реагентов с высокой точностью в диапазоне от нескольких миллилитров до десятков литров в минуту на одну точку дозирования в импульсном или непрерывном режиме.

Дальнейшее расширение номенклатуры технологического оборудования, производимого НПО «РИВС», привело к необходимости разработки средств автоматизации передела рудоподготовки. Так, в частности, разработана автоматизированная система управления насосно-гидроциклонными установками АНГЦУ-РИФ, по функциональным возможностям не уступающая лучшим зарубежным аналогам.

Современные АНГЦУ-РИФ реализуют следующие функции контроля и управления:

- стабилизацию уровня пульпы в зумпфе изменением скорости вращения приводов песковых насосов;
- стабилизацию давления пульпы в питании гидроциклонов за счет переключения их числа в батарее;
- стабилизацию плотности пульпы регулированием подачи воды в зумпф песковых насосов по показаниям плотномера на сливе гидроциклонов;
- автоматический запуск и останов песковых насосов с обеспечением промыва магистрали нагнетания при пуске и сбросе в дренаж остатков пульпы при останове.

Для реализации перечисленных функций предусматривается соответствующее техническое оснащение средствами контроля и управления. Дальнейшее совершенствование системы связано с использованием для управления информации о гранулометрическом составе слива гидроциклонов. С этой целью предполагается применить автоматический гранулометр для пульповых продуктов ГПП-РИФ, разработанный НПО «РИВС» и находящийся в настоящее время в опытной эксплуатации.

Применяемый в гранулометре способ подготовки пульпы к измерениям позволяет одновременно контролировать распределение частиц твердой фазы пульпы по нескольким классам крупности. Цикл измерений составляет 15–20 мин.

В связи с производством нашей компанией вибрационных

грохотов для горно-обогатительной промышленности разработан датчик крупности продуктов грохочения — автоматический гранулометр кусковых продуктов ГКП-РИФ. Недорогое устройство, работающее на принципе сканирования поверхности потока руды лазерным уровнемером, позволяет оценивать как отклонение крупности контролируемого продукта от контрольной величины, так и объемные характеристики продуктов грохочения.

Роль и значение опробования и аналитического контроля на горно-обогатительных производствах трудно переоценить. В НПО «РИВС» интенсивно проводятся исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию фирменной автоматической системы аналитического контроля (АСАК) пульп. К настоящему времени разработана, испытана и сертифицирована автоматическая система опробования пульповых продуктов (АСОПП) — одна из важнейших составляющих АСАК. В данном случае под опробованием технологических пульп понимается комплекс операций по отбору и подготовке представительных проб для определения одной или нескольких характеристик вещественного состава контролируемых продуктов.

В состав АСОПП входят следующие основные компоненты, включая их различные модификации:

- пробоотборник пересечной с пневмоприводом (ППП-РИФ) для балансового и оперативного опробования;
- пробоотборник напорный с пневмоприводом (ПНП-РИФ) для оперативного опробования;
- пробоотборник-накопитель вакуумный (ПНВ-РИФ) для оперативного опробования;
- станция накопления и пневмоотправки проб (СНПП-РИФ);
- станция приема и деаэрации проб (СПДП-РИФ);
- сократитель проб с пневмоприводом (СПП-РИФ);
- устройство фильтрации проб вакуумное (УФПВ-РИФ);
- шкаф управления пробоотбором и прободоставкой (ШУПП);
- шкаф управления сокращением проб (ШУСП);
- шкаф управления циркуляцией проб (ШУЦП);
- шкаф управления фильтрацией проб (ШУФП);
- центральная станция управления (ЦСУ);
- автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора, представляющее собой программно-технический комплекс (ПТК) «АРМ оператора АСОПП».

Выполнение конкретных задач на горно-обогатительном предприятии, например оперативное или балансовое опробование, пневмотранспортирование накопленных проб или их ручная доставка в испытательную лабораторию, предопределяет соответствующую конфигурацию оборудования и программно-технических средств АСОПП. Так, например, для ОФ компании Carmen Corper Congregation (Филиппины), ЗИФ «Арагат» (Армения) и ОФ Зангезурского ММК (Армения) требовались лишь автоматические пробоотборные комплексы (узлы), включающие пробоотборник, станцию накопления и пневмоотправки, а также шкаф управления пробоотбором и прободоставкой. В то же время для ОФ ОАО «Гайский ГОК» корпорации «УГМК-Холдинг» (Россия) и Николаевской ОФ корпорации «Казахмыс» (Казахстан) требовались линии опробования в полной комплектации, вплоть до автоматиче-

ского формирования и накопления обезвоженных контрольных и балансовых проб. Таким образом, условно АСОПП можно разделить на следующие укрупненные компоненты:

- автоматический пробоотборный комплекс (АПК-РИФ), состоящий из пробоотборника того или иного типа, станции накопления и пневмоотправки проб и местного шкафа управления пробоотбором и прободоставкой;
- автоматический комплекс пробоподготовки (АКП-РИФ), состоящий из станции приема и деаэрации, сократителя, устройства фильтрации проб и соответствующих шкафов управления;
- автоматический комплекс циркуляционной пробоподдачи (АКЦП-РИФ), т. е. подачи пульповых проб на анализ, включающий циркуляционный насос, проточную кювету пульпового анализатора, шкаф управления.

Из перечня оборудования АСОПП следует, что с помощью одной и той же линии автоматического опробования возможно комплексное решение как оперативных, так и балансовых задач. При этом вышеперечисленные шкафы управления могут комплектоваться элементами пневмоавтоматики и программируемыми логическими контроллерами (ПЛК) различных типов и производителей, с учетом пожеланий и возможностей заказчика.

Другой важнейшей составляющей АСАК на горно-обогатительных производствах являются аналитические комплексы (АК) на основе рентгенофлуоресцентных (РФ) волно- или энергодисперсионных спектрометров или анализаторов. Некоторые концептуальные разработки НПО «РИВС» в области создания современных АК отражены в [3] и в данном выпуске «Горного журнала». Следует подчеркнуть, что без представительного опробования невозможно получить истинно достоверные результаты аналитического контроля, необходимые как для отладки технологических процессов, так и для управления ими на горно-обогатительных предприятиях. В связи с этим в НПО «РИВС» с помощью специально разработанного испытательно-демонстрационного стенда исследуются и совершенствуются технические средства опробования, а также методико-математическое обеспечение РФ-комплексов и АСАК в целом.

Относительно новым направлением работ является автоматизация оттирочных комплексов, занимающих все более заметное место в составе флотационного оборудования. Средства автоматизации оттирочных комплексов включают управляющий контроллер; объемные расходомеры и плотномеры на трубопроводах продуктов питания; датчики мощности, потребляемой регулируемые электроприводами перемешивающих устройств; регулируемые питатели реагентов; датчики ионного состава пульпы на выходе агрегата; автоматический шародозатор; датчик шума, контролирующий режим движения шаровой загрузки. Наличие средств автоматизации позволяет создать оптимальные условия для механической активации поверхности минералов, вовлекаемых в процесс флотационного обогащения.

Вместе с тем в настоящее время ресурсы компании НПО «РИВС» позволяют осуществить актуальный переход от локальных задач автоматизации отдельных технологических агрегатов

и переделов к комплексному управлению технологическими процессами. Действительно, достижение конечной цели, заданной для конкретного передела, может быть реализовано исключительно при согласованной работе всех переделов и операций технологического процесса, подчиняющихся единому критерию эффективности. В свою очередь, эффективное управление процессом возможно только при наличии информации, содержащей качественно-количественные характеристики продукта питания, поступающего на флотацию. Для решения этой задачи авторами разработано устройство для автоматического контроля и распределения потоков пульпы. Устройство содержит многоканальный регулирующий контроллер, пульподелитель с заданным числом отводов, датчики содержания полезных компонентов и физико-химических свойств перерабатываемой руды. Каждый из отводов содержит расходомер и исполнительный механизм регулирования расхода пульпы. Такое техническое оснащение позволяет, во-первых, осуществлять регулируемое распределение исходного питания между параллельно работающими технологическими линиями и, во-вторых, реализовать алгоритм распознавания образов, который по совокупности признаков, характеризующих содержание полезных компонентов, минералогический состав, физико-химические свойства руды, позволяет отнести перерабатываемую в текущий момент времени руду к тому или иному технологическому сорту. Полученная информация может быть использована для своевременного установления наиболее приемлемого технологического режима, обеспечивающего достижение заданных показателей эффективности. Авторами разработан подход к решению такой задачи в on-line-режиме. Основным ожидаемым результатом от внедрения выполненной разработки является повышение эффективности процесса флотации за счет следующих факторов:

- своевременной корректировки режимов при смене сортов перерабатываемых руд;
- повышения оперативности контроля и управления технологическим процессом благодаря непрерывному мониторингу отклонений технологических параметров от регламента;
- уменьшения влияния человеческого фактора;
- улучшения показателей работы смен, укомплектованных персоналом, не имеющим достаточного опыта работы.

Разработанный подход предусматривает реализацию алгоритма, включающего следующие основные этапы.

На основе анализа вещественного состава продукта питания осуществляют условную классификацию руд на несколько сортов.

Всю технологическую схему разбивают на контуры управления, позволяющие рассчитать для них баланс металлов (подход к решению задачи расчета баланса металлов применительно к задачам управления процессом обогащения руд приведен в статье, опубликованной в данном выпуске «Горного журнала»).

Для каждого контура управления в моменты достижения критериев эффективности в целом для передела флотации и для выделенного сорта руды фиксируют локальные критерии эффективности и формируют соответствующие архивы.

После завершения процесса формирования архивов данных оценивают сорт руды, поступающей на переработку, устанавливая факт достижения заданных критериев в целом для передела флотации; в случае достижения положительных результатов, задания локальным системам регулирования оставляют без изменений, а при отрицательном результате оценивают эффективность работы каждого из локальных контуров управления; в случае обнаруженных неэффективно работающих контуров идентифицируют относящиеся к ним массивы данных с имеющимися в архивах для сортов руды, аналогичных текущему, и формируют на основе этой процедуры задания входящим в их состав системам регулирования.

С целью отслеживания временного «дрейфа» информации запись данных в архивы производят таким образом, что после накопления информации за установленный промежуток времени осуществляют обновление архивов путем записи на место информации, соответствующей первым по времени циклам измерений, результатов последних измерений, описывающих ситуации, сложившиеся на моменты достижения заданных значений критериев эффективности.

Важным и актуальным, с точки зрения авторов, современным направлением развития комплексной автоматизации на горно-обогатительных предприятиях может служить широкое использование основных положений теории статистического управления на основе разнообразных контрольных карт Шухарта (ККШ) [4]. Развитию данного направления способствует стандартизация в России (ГОСТ Р 50779.42-99) статистических методов управления процессами на основе ККШ, а также определенная универсальность этих методов, позволяющая не только выявить момент выхода контролируемого процесса из состояния статистической управляемости (нормы), но и установить (с определенной вероятностью) возможные причины этого выхода, по крайней мере на уровне экспертной оценки.

При рассмотрении вопросов оптимизации процесса флотации необходимо учитывать влияние на эффективность процесса таких важных факторов, как, например, качество используемой оборотной воды. В современных условиях учет данного фактора важен не только в технологическом, но и в экологическом отношении. Задача экспрессного определения низких концентраций различных элементов и соединений в оборотной воде достаточно сложна, но решаемая. В связи с этим можно сослаться на положительный опыт разработки и применения в составе АСАК интегрированного АК на основе рентгенофлуоресцентного (Спектроскан-U) и вольтамперометрического (АЖЭ-11М) анализаторов [5]. В данной работе рассмотрены методологические вопросы построения распределенной АСАК, предназначенной для непрерывного автоматического отбора проб, доставки и подготовки их к анализу, экспрессного измерения низких (менее 10 мг/л) концентраций многих электрохимически активных катионов и анионов вольтамперометрическим методом и высоких (более 5–10 мг/л) концентраций любых элементов из ряда ^{12}Mg — ^{92}U рентгенофлуоресцентным методом. Аналитическая часть данной распределенной АСАК устанавливается непосред-

ственно у точки контроля. Пример создания и внедрения автоматической системы экологического мониторинга (АСЭМ) природного водоема и автоматического регулирования промышленных стоков на основе поточного анализатора АЖЭ-11М и программно-технических средств компании GE (США) приведен в работе [6]. В работах [5, 6] применен автоматический многоэлементный анализатор АЖЭ-11М, по-существу, являющийся электрохимическим или вольтамперометрическим спектрометром, в котором используется постоянно обновляемый электрод в виде ртутной микрокапли. Это обстоятельство предопределяет высокую чувствительность анализатора, но одновременно накладывает понятные ограничения, обусловленные использованием ртути. В связи с этим интересен пример создания АСАК и/или АСЭМ на основе автоматического АК, разработанного с применением рентгенофлуоресцентного кристалло-дифракционного спектрометра «Спектроскан МАКС G» и безртутного вольтамперометрического анализатора АКВ-07МК с твердотельным вращающимся золотым электродом [7]. Установлено, что данный интегрированный АК по аналитическим возможностям составляет достойную конкуренцию классическому атомно-абсорбционному методу с пламенной атомизацией, а применение двух методов и приборов обусловлено следующими основополагающими факторами:


- охватом всего диапазона определяемых концентраций и повышением достоверности результатов путем организации взаимного метрологического контроля;
- применением приборно-методического резервирования, позволяющего проводить эффективный и практически непрерывный аналитический контроль технологических процессов.

Следует отметить, что большинство разработанных и представленных авторами в настоящей статье систем, устройств и способов запатентовано или находится в процессе патентования.

В заключение, возвращаясь к эпиграфу статьи, подчеркнем важность и необходимость развития низовых средств и локальных систем автоматизации для горно-обогатительных производств с дальнейшей их интеграцией в единую систему управления.

Библиографический список

1. Зимин А. В. ЗАО «РИВС» — итоги и достижения // Горный журнал. 2012. № 11. С. 4–5.
2. Трушин А. А., Седов А. В., Любиченко А. А., Никандров И. С. Системы автоматического регулирования процесса флотации производства ЗАО НПО «РИВС» // Горный журнал. 2010. № 10. С. 69–74.
3. Бондаренко А. В. Вариант развития автоматических систем аналитического контроля пульпы // Горный журнал. 2010. № 10. С. 75–80.
4. Уилер Д., Чамберс Д. Статистическое управление процессами. Оптимизация бизнеса с использованием контрольных карт Шухарта : пер. с англ. - М. : Альпина Бизнес Букс, 2009.
5. Плеханов Ю. В., Хмаро В. В., Бондаренко А. В. и др. О создании и испытании автоматизированной системы аналитического контроля гидromеталлургических и химических процессов // Тез. докл. I Всерос. конф. «Аналитические приборы». — СПб. : НИИ Химии СПбГУ, 2002.

6. Бондаренко А. В., Горшков Ю. В., Карамышев Н. И. и др. К созданию автоматических систем аналитического контроля и экологического мониторинга // Тез. докл. II Всерос. конф. «Аналитические приборы». — СПб. : Корона-Принт, 2005.
7. Бондаренко А. В., Ермаков С. С., Литинский А. В. Автоматическое экспрессное определение низких концентраций элементов в гидromеталлургических растворах//Тез. докл. III Всерос. конф. «Аналитические приборы» : сб. «Тенденции развития аналитического приборостроения». — СПб. : Русская классика, 2008. 

*Зимин Алексей Владимирович,
e-mail: A_Zimin@rivs.ru*

*Трушин Алексей Алексеевич,
e-mail: A_Trushin@rivs.ru*

*Бондаренко Александр Владимирович,
e-mail: A_Bondarenko@rivs.ru*

"GORNYI ZHURNAL"/"MINING JOURNAL", 2014, № 11, pp. 91–95	
Title	Vector of development of means and systems of automation for mining-concentration productions at Scientific and Production Association "RIVS"
Author 1	Name & Surname: Zimin A. V.
	Company: RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)
	Work Position: General Director
	Scientific Degree: Candidate of Engineering Sciences
	Contacts: e-mail: A_Zimin@rivs.ru
Author 2	Name & Surname: Trushin A. A.
	Company: RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)
	Work Position: Director of Automation Office
	Scientific Degree: Candidate of Engineering Sciences
Author 3	Name & Surname: Bondarenko A. V.
	Company: RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)
	Work Position: Head of Analytical Center (AC), Deputy General Director
	Scientific Degree: Candidate of Engineering Sciences
Abstract	<p>The article gives a review of the key research findings gained by RIVS in the sphere of development of equipment and systems for automation of mining and processing operations, and outlines conceptual courses of further improvement.</p> <p>The authors present in brief the composition of the new automation system for pulp sampling, being one of the key elements in the automated analytical control over flotation process, which is under development by RIVS.</p> <p>The concept of the automated control over flotation process considering ore grade is discussed, and a version of the related algorithm is performed. It is regarded promising to use provisions of the theory on statistical control based on Shewhart charts to meet the challenges of monitor and control in mining and processing.</p> <p>The capabilities of automated quality control of recycling water, which is an influential factor in terms of the flotation process output, are assessed.</p> <p>The authors come to a conclusion on the need to pursue development of local automation and integration of the devices in the uniform mining and processing control.</p>
Keywords	Ore dressing, automation equipment and systems, control system classification, automated sampling and control system, control algorithms and programs, Shewhart charts, statistic control.
References	<ol style="list-style-type: none"> Zimin A. V. Zakrytoe Aktsionernoe Obshchestvo «Nauchno-Proizvodstvennoe Obединenie "RIVS" – itogi i dostizheniya (JSC "Scientific Production Association "RIVS" – results and achievements). Gornyi Zhurnal = Mining Journal. 2012. No. 11. pp. 4–5. Trushin A. A., Sedov A. V., Lyubichenko A. A., Nikandrov I. S. Sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya protsessa flotatsii proizvodstva Zakrytogo Aktsionernogo Obshchestva «Nauchno-Proizvodstvennoe Obединenie "RIVS"» (Systems of automatic regulation of flotation process of works of JSC "Scientific Production Association "RIVS"). Gornyi Zhurnal = Mining Journal. 2010. No. 10. pp. 69–74. Bondarenko A. V. Variant razvitiya avtomaticheskikh sistem analiticheskogo kontrolya pulp (Method of development of automatic systems of analytical control of pulps). Gornyi Zhurnal = Mining Journal. 2010. No. 10. pp. 75–80. Donald J. Wheeler, David S. Chambers. Statisticheskoe upravlenie protsessami. Optimizatsiya biznesa s ispolzovaniem kontrolnykh kart: Shukharta (Understanding Statistical Process Control). Translated from English. Moscow : Alpina Business Books, 2009. Plekhanov Yu. V., Khmaro V. V., Bondarenko A. V. et al. O sozdanii i ispytaniyakh avtomatizirovannoy sistemy analiticheskogo kontrolya gidrometallurgicheskikh i khimicheskikh protsessov (About creation and tests of automated system of analytical control of hydrometallurgical and chemical processes). Tezis doklada Pervoy Vserossiyskoy Konferentsii «Analiticheskie pribory» (Thesis of report of the First All-Russian Conference "Analytical instruments"). Saint Petersburg : Scientific-Research Institute of Chemistry of Saint Petersburg State University, 2002. Bondarenko A. V., Gorshkov Yu. V., Karamyshev N. I. et al. K sozdaniyu avtomaticheskikh sistem analiticheskogo kontrolya i ekologicheskogo monitoringa (To the creation of automatic systems of analytical control and ecological monitoring). Tezis doklada Vtoroy Vserossiyskoy Konferentsii «Analiticheskie pribory» (Thesis of report of the Second All-Russian Conference "Analytical instruments"). Saint Petersburg : Korona-Print, 2005. Bondarenko A. V., Ermakov S. S., Litinskiy A. V. Avtomaticheskoe ekspressnoe opredelenie nizkikh kontsentratsiy elementov v gidrometallurgicheskikh rastvorakh (Automatic express definition of low concentrations of elements in hydrometallurgical solutions). Tezis doklada Tretyey Vserossiyskoy Konferentsii «Analiticheskie pribory». Sbornik «Tendentsii razvitiya analiticheskogo priborostroeniya» (Thesis of report of the Third All-Russian Conference "Analytical instruments". Collection: "Tendencies of development of analytical instrument engineering"). Saint Petersburg : Russkaya Klassika, 2008.