

"GORNYI ZHURNAL"/"MINING JOURNAL", 2014, № 11, pp. 96–100

<b>Title</b>	<b>Assessment of possibilities of analytical complex on the basis of X-ray fluorescence energy dispersion spectrometer with SDD detector in the time of analysis of ores and concentration products</b>
<b>Author 1</b>	Name & Surname: <b>Bondarenko A. V.</b>
	Company: <b>RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)</b>
	Work Position: <b>Deputy Director, Professor</b>
	Scientific Degree: <b>Candidate of Engineering Sciences</b>
<b>Author 2</b>	Contacts: <b>e-mail: A_Bondarenko@rivs.ru</b>
	Name & Surname: <b>Nikandrov I. S.</b>
	Company: <b>RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)</b>
	Work Position: <b>Head of subdivision</b>
<b>Author 3</b>	Name & Surname: <b>Andreev D. S.</b>
	Company: <b>RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)</b>
<b>Author 3</b>	Work Position: <b>Head of subdivision</b>
<b>Abstract</b>	<p>The article discusses one of the promising configurations of the analytic instrumentation package (AIP), including a small-size X-ray fluorescence spectrometer with the latest silicon drift detector and an X-ray mini pipe for the express-analysis of pulp slurry.</p> <p>AIP is defined in the article in accord with the RIVS concept of creation of the full-scale automatic analytical control system (AACS) for ore minerals and concentrates. AACS is composed of two subsystems, namely AIP and APSS (automatic pulp slurry sampling); APSS is also developed by RIVS, industrially trialed and certified. The issues of the prototype design are considered. The advantages of the prototype over analogous systems are described.</p> <p>The instrumentation characteristics and analysis capacities of AIP are experimentally evaluated. Based on the evaluation, AIP is compared with the best analytic instrumentation packages of Russian and foreign manufacture.</p> <p>On the ground of the research findings, the conclusion is made that the designed system meets the requirements of the effective operational analytical control over ore minerals and concentrates.</p>
<b>Keywords</b>	Energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometer, silicon drift detector, analytic instrumentation package, software, analytic parameters, instrumental errors, methodological and mathematical support, ore mineral and concentrate analysis.
<b>References</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Bondarenko A. V. Variant razvitiya avtomaticheskikh sistem analiticheskogo kontrolya pulp (Method of development of automatic systems of analytical pulp control). Gornyi Zhurnal = Mining Journal. 2010. No. 10. pp. 75–80.</li> <li>Bondarenko A. V., Zakharov P. A., Nikandrov I. S., Smimov S. A., Shevelev E. S. Razrabotka avtomatizirovannoy sistemy oprobovaniya pulpykh produktov (Development of automated system of pulp products testing). Tezisy dokladov nauchno-prakticheskoy konferentsii Nauchno-Proizvodstvennogo Obiedineniya «RIVS» (Thesis of reports of scientific-practical conference of Scientific Production Association "RIVS"). Saint Petersburg, 2012.</li> <li>Bondarenko A. V. Apparaturnye pogreshnosti pri rabote rentgenovskogo analiticheskogo kompleksa SRM-13-EVM ASVT M-6000 (Implementation error in the time of operation of X-ray analytical complex SRM-13-EVM ASVT M-6000 (CPM-13-ЭВМ АСВТ М-6000)). Apparatura i metody rentgenovskogo analiza (Apparatus and methods of X-ray analysis). Leningrad : Mashinostroenie, 1982. Iss. 27.</li> <li>Bondarenko A. V. Ispolzovanie rentgenovskogo kompleksa SRM-13-EVM M-6000 dlya analiza produktov obogashcheniya medno-nikelevykh rud (Use of X-ray complex SRM-13-EVM M-6000 (CPM-13-ЭВМ М-6000) for analysis of copper-nickel ore concentration products). Apparatura i metody rentgenovskogo analiza (Apparatus and methods of X-ray analysis). Leningrad : Mashinostroenie, 1984. Iss. 32.</li> <li>R. Kellner, J.-M. Mermet, M. Otto, H. M. Widmer. Analiticheskaya khimiya. Problemy i podkhody (Analytical chemistry. Problems and approaches). Moscow : Mir, 2004. Vol. 2.</li> <li>Bondarenko A. V., Karamyshev N. I., Katsman Ya. M. Nelineynoe otsenivanie parametrov v inzhenernoy praktike Zakrytogo Aktsionernogo Obshchestva « Nauchno-Proizvodstvennoe Obiedinenie RIVS» (Non-linear assessment of parameters in engineering practice of JSC "Scientific-Production Association "RIVS"). Gornyi Zhurnal = Mining Journal. 2011. No. 10.</li> </ol>

УДК 622.7.002.5

**А. В. БОНДАРЕНКО, Н. И. КАРАМЫШЕВ, А. А. ТРУШИН** (НПО «РИВС»)

**Я. М. КАЦМАН** (СП ЗАО «ИВС»)

## РАСЧЕТ БАЛАНСА МЕТАЛЛОВ КАК ЭЛЕМЕНТ АСУТП ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ



**А. В. БОНДАРЕНКО,**  
руководитель  
Аналитического центра (АЦ),  
зам. генерального директора,  
канд. техн. наук



**Н. И. КАРАМЫШЕВ,**  
руководитель сектора  
программирования АЦ



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



**Я. М. КАЦМАН,**  
ведущий инженер,  
канд. техн. наук

Рассматриваются некоторые особенности расчета баланса металлов и применения контрольных карт Шухарта в автоматизированной системе управления технологическими процессами на горно-обогатительном производстве.

**Ключевые слова:** обогащение руд, автоматизация технологических процессов, баланс металлов, методы и алгоритмы расчетов, контрольные карты Шухарта.

Классический подход к решению целевой задачи АСУТП, принятый в теории автоматического управления за основу, требует наличия математической модели, адекватно описыва-

ющей связи входных и выходных параметров объекта управления при внесении определенных управляющих воздействий. Кроме того, должен быть установлен некоторый критерий, на

основании которого оценивается эффективность или качество управления.

В настоящей статье рассматривается один из возможных подходов к оценке эффективности управления на основе расчета баланса металлов как наиболее широко применяемого в практике обогащения руд полезных ископаемых.

Все измеренные на практике величины являются приближенными, и результаты расчетов, выполненных на их основе, также приближенные, даже если расчетные зависимости абсолютно точны. Вкупе с реальной неоднородностью и нестабильностью в той или иной мере физических свойств большинства рассматриваемых в инженерной практике объектов все расчетные значения заведомо имеют некоторую погрешность. Вместе с тем наличие избыточной информации об измеренных величинах дает возможность снизить погрешность от случайного разброса свойств и ошибок измерения.

Именно использование такой избыточной информации и лежит в основе методики расчета баланса металлов. Сама методика расчета отнюдь не нова и детально изложена в монографии [1]. Предмет настоящей работы состоит в определении места такого расчета в общей структуре АСУТП.

Не вдаваясь в математические особенности задачи, детально рассмотренные в [1], опишем сущность рассматриваемой проблемы. Балансовые уравнения многокомпонентного потока, по существу, отражают закон сохранения вещества и напоминают правила Кирхгофа для электрических цепей. Поскольку все компоненты рудного потока предполагаются невзаимодействующими, имеется столько наборов уравнений для всей технологической схемы, сколько компонентов рассматривается. Каждый узел (разделительная операция) разделяет входящие в него потоки на несколько новых, отличающихся содержанием (долей) рассматриваемых компонентов.

Теоретически можно построить технологический баланс на основе математических моделей операций и выполнить расчет только на основании данных об исходных питаниях (массовых потоках каждого компонента). К сожалению, большой разброс возможных физических параметров такой модели сводит практическое применение такого расчета к оценке эффективности той или иной технологической схемы на стадии предпроектного решения. Для определения реальных значений выходов необходимо основываться на данных опробования и контроля процесса, определяющих концентрацию компонентов после каждой рассматриваемой операции и массу исходного питания.

В соответствии с ОСТ 48-157-79 [2], в качестве исходных данных для расчета технологического баланса подготавливается следующая информация, относящаяся к контрольному периоду времени:

- формализованное описание технологической схемы в виде так называемой технологической матрицы;
- число контролируемых компонентов  $m$ , выбранное таким образом, чтобы для контура, содержащего  $p$  операций,  $l$  продуктов исходного питания и  $n$  выходных продуктов, выполнялось условие  $(m + l)p \geq n$ ;
- значения стандартных погрешностей определения содержа-

ний компонентов (металлов) и массы исходного питания, соответствующих принятым методам контроля;

- одномоментно измеренное содержание компонентов во всех продуктах и масса (по сухому весу) исходных продуктов (питания).

При этом могут возникнуть две ситуации.

$$1. (m + l)p = n.$$

В этом случае (чаще всего рассматриваемом на обогатительных фабриках) расчет баланса сводится к решению системы  $n$  линейных алгебраических уравнений с  $n$  неизвестными, что не представляет никаких сложностей, если матрица системы уравнений невырожденная.

$$2. (m + l)p > n.$$

Расчет технологического баланса по этим данным сводится к решению методом максимального правдоподобия переопределенной системы линейных алгебраических уравнений, т. е. в конечном счете минимизации функции многих переменных с линейными ограничениями. С целью перехода к задаче безусловной (т. е. без ограничений) минимизации в [1] предложен рациональный прием, требующий выделения из прямоугольной матрицы с  $p$  строками и  $(n + l)$  столбцами невырожденной (обращаемой) квадратной матрицы порядка  $p$ .

Рассмотрим наиболее интересные с нашей точки зрения моменты, отличающие разработанное в НПО «РИВС» программное обеспечение от приведенного в [1]. К ним относятся:

- методика выделения невырожденной матрицы (описание таковой в [1] не приводится);
- выбор эффективного метода безусловной минимизации функции многих переменных.

Для выделения невырожденной матрицы, т. е. матрицы с линейно независимыми строками, можно воспользоваться любым стандартным алгоритмом ее приведения к ступенчатому виду (верхней треугольной матрице) с выбором главного элемента. В этом случае в процессе расчета осуществляется перенумерация неизвестных (перестановка строк и столбцов), и процесс останавливается либо по исчерпанию всех строк матрицы, либо при получении нулевого коэффициента на главной диагонали. Таким образом, определяется не только ранг матрицы, но и линейно независимая подматрица (номера строк и столбцов исходной матрицы). В разработанной программе для этой цели использован метод Гаусса — Жордана с выбором главного элемента по всей матрице [3].

В качестве алгоритма минимизации функции многих переменных выбирается оптимальный для конкретных условий метод из постоянно пополняемой в НПО «РИВС» библиотеки программ.

Отметим, что использование «избыточной» информации путем учета сопутствующих контролируемых элементов при наличии на ОФ современных аналитических комплексов (типа разрабатываемых в НПО «РИВС» [4]) достаточно эффективно и неза-

тратно, так как не требует организации дополнительных точек опробования и контроля. Следовательно, применение усовершенствованного метода расчета баланса не только желательно, но и вполне реализуемо.

Расчет технологического баланса металлов — задача, так или иначе решаемая на всех предприятиях, тем более что имеется ОСТ на алгоритмы ее решения. Однако вопрос о том, как распорядиться результатами расчета, кроме банальной констатации факта, как сделать его элементом общей задачи, состоящей в оптимальном управлении технологическим процессом, заслуживает отдельного рассмотрения.

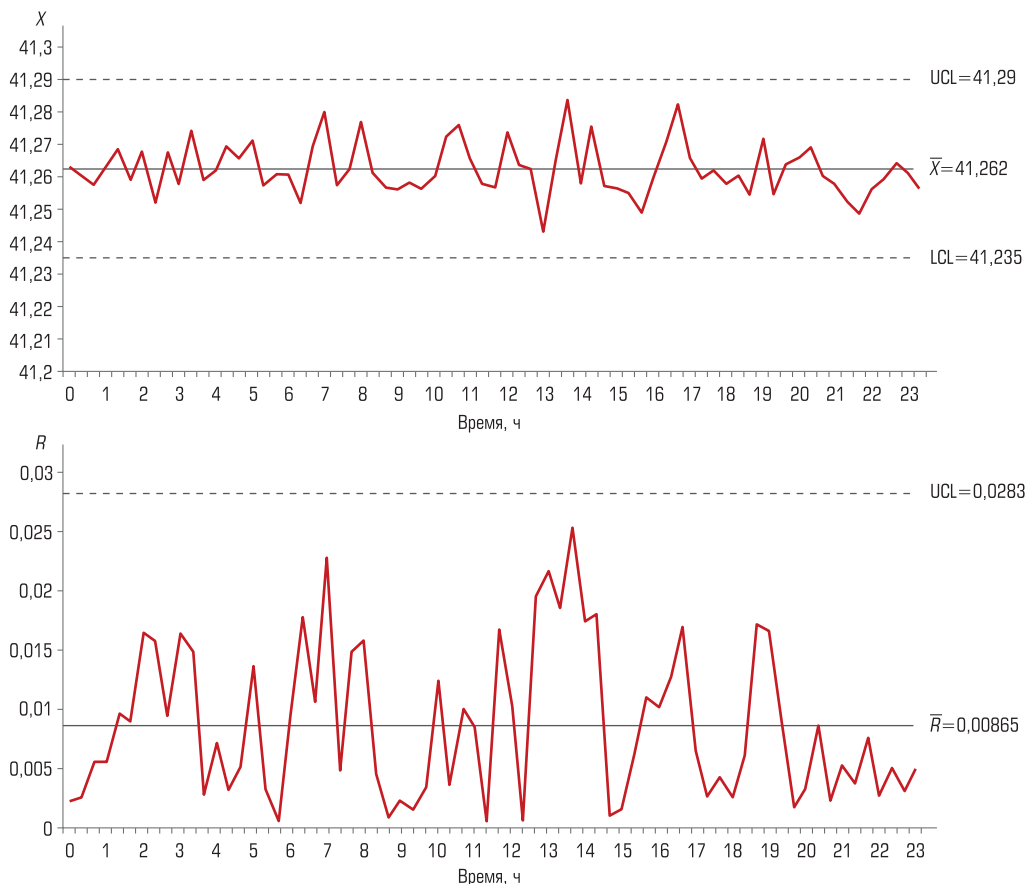
Целью АСУТП является обеспечение функционирования всех элементов технологической схемы в заданных пределах (ограничениях). Расчет баланса металлов позволяет оценивать параметры, количественно и качественно характеризующие ход управляемого процесса. Такими параметрами для каждого продукта ОФ являются уточненные (по отношению к измеренным) значения содержания контролируемых элементов и рассчитываемые на их основе такие параметры, как выход и извлечение. Диапазоны допустимых изменений контролируемых параметров задаются технологическим регламентом. Таким образом, в задачу АСУТП ОФ входит обеспечение соблюдения технологического регламента, определение причин отклонения от него и их устранение при выходе контролируемых параметров из допустимого диапазона.

Для выполнения этой задачи широко применяются основные положения теории статистического управления процессами (SPC — Statistical Process Control) с использованием контрольных карт Шухарта (ККШ) в сочетании с определенной философией (методологией) как их применения, так и последующей интерпретации [5–7].

SPC — своего рода образ мышления и мощный инструмент для оценки вариабельности и управления процессами при условии, что у людей, пользующихся этим инструментом, сформировано целостное мировоззрение, основанное на признании статистических идей важными и полезными. Без такого мировоззрения применение SPC не может быть достаточно эффективным. Цель SPC — улучшение процесса, а это требует глубокого понимания как самого процесса, так и методологии использования SPC для непрерывного совершенствования процесса.

Идея SPC на основе ККШ состоит в анализе изменчивости (вариабельности) процесса статистическими методами, выявлении причин выхода процесса из допустимых границ и способов их устранения.

Одним из очень распространенных и непродуктивных методов управления процессом являются попытки немедленной выдачи корректирующего воздействия при отклонении процесса от регламентируемого стандартного состояния по тем или иным параметрам. В случае, если это отклонение вызвано естественной из-



**Контрольные карты Шухарта вариации цинка в цинковом концентрате одной из ОФ, где  $\bar{X}$ , UCL, LCL,  $\bar{R}$  — среднее значение, верхний и нижний пределы вариации и размах концентраций цинка соответственно**

менчивостью параметров в допустимых пределах и имеет тенденцию возвращения в желаемый диапазон, искусственное внешнее воздействие только усугубляет изменчивость процесса, делает его хаотичным и неуправляемым. В результате такое «управление» приводит к полной потере контроля над процессом.

В ККШ характер тики обычно определяются по усредненным за некоторый промежуток времени данным, что позволяет сглаживать случайные выбросы, связанные с естественной вариабельностью процесса, и выявлять истинные тенденции.

В тех случаях, когда дискретность измерений контролируемых параметров и, соответственно, балансовых расчетов настолько велика, что не позволяет ожидать накопления результатов измерений для их усреднения, используются ККШ индивидуальных значений со скользящими размахами.

ККШ могут быть построены для любых параметров, определяемых в ходе балансовых расчетов, на любом заданном интервале времени в зависимости от инерционности процесса и позволяют определить, является ли процесс управляемым, требуются ли корректирующие воздействия, каковы тренды показателей. Они позволяют разделить ситуации на поддающиеся техническому решению или требующие административных мероприятий.

На рисунке приведен пример ККШ индивидуальных значений со скользящими размахами, построенной для концентрации цинка в цинковом концентрате и отображаемой на экране автоматизированного рабочего места флотатора АСУТП одной из ОФ.

Данный пример иллюстрирует ситуацию, когда процесс находится в состоянии статистической управляемости. В случае выхода процесса из такого состояния (появлении отчетливых трендов, выхода параметров за установленные пределы и т. д.) должны быть предприняты действия по установлению и устранению причин, приведших к выходу из управляемого состояния, и/или выполнены необходимые корректирующие воздействия для возвращения процесса в управляемое состояние. Поэтому первостепенное значение приобретает постоянное изучение процесса с целью эффективного выявления возможных причин, которые могут повлиять при данных условиях на выход процесса из состояния статистической управляемости. В этом случае использование ККШ может сопровождаться адекватной диагностикой, а в некоторых ситуациях — и автоматической выдачей корректирующих воздействий.

Таким образом, для успешного внедрения в практику обогащенных предприятий современных методов SPC, с одной стороны, требуется углубленное изучение технологического процесса, а с другой — изменение сознания специалистов и менеджеров, отвечающих за технологический процесс, с учетом важности и значения идей SPC.

Как следует из вышеизложенного, анализ причин выхода процесса из состояния статистической управляемости и выбор соответствующих действий выходит за рамки задачи расчета технологического баланса металлов. Например, ряд таких важных факторов, влияющих на процесс флотации, как качество оборотной воды, реагентный режим и др., должен обязательно анализироваться [8], что позволит в конечном счете идентифицировать

не только возникающие проблемы, но и их источник с выработкой рекомендаций по их устранению.

Необходимые действия по управлению технологическим процессом могут быть выполнены непосредственно технологическим персоналом. При этом необходимо учесть, что эффективность такого рода действий во многом зависит от человеческого фактора, т. е. от своевременности принятия решений, наличия производственного опыта, объективности оценки сложившейся ситуации и т. д.


В связи с этим в НПО «РИВС» разработан математический аппарат, позволяющий автоматизировать принятие управляющих воздействий, оптимизирующих ход технологического процесса. Основная идея управления заключается в идентификации сортов перерабатываемых руд и архивации для выделенных сортов руды массивов информации, включающих значения технологических параметров, управляющих воздействий, достоверность значений которых подтверждается путем использования ККШ, и обеспечивающих достижение заданных показателей эффективности. В случае отклонения технологического процесса от регламента включается механизм поиска, осуществляющий выбор из базы данных управляющих воздействий, обеспечивавших в прошлом (для аналогичных текущим условиям протекания технологического процесса и сорта руды) необходимое качество управления. Более подробно данный принцип управления, находящийся в стадии патентования, рассмотрен в работе [8].

Таким образом, рассмотренный выше способ расчета технологического баланса металлов, обеспечивающий снижение его погрешности, совместно с методологией использования ККШ позволяет создать эффективный инструмент, необходимый как для оперативного контроля процесса флотации, так и для разработки программного обеспечения АСУТП ОФ.

В заключение отметим, что все разработанные авторами методы и алгоритмы включены в постоянно пополняемую базу знаний НПО «РИВС» и могут применяться при решении иных задач, аналогично тому, как методы минимизации, приведенные в работе [9], применены здесь при расчете баланса металлов.

#### Библиографический список

1. Баланс металлов. Расчеты на ЭВМ. Справочное пособие. — М.: Недра, 1991.
2. ОСТ 48-157-79 «Расчет технологического баланса металлов на обогащательных фабриках МЦМ СССР с применением математических методов и ЭВМ». — М., 1979.
3. Воеводин В. В., Петрина Р. В. Комплекс алгоритмов, основанных на преобразованиях типа Гаусса, в пакете линейной алгебры // Сб. «Численный анализ на ФОРТРАНе». — М.: Изд-во МГУ, 1973. Вып. 3.
4. Бондаренко А. В., Никандров И. С., Андреев Д. С. Оценка возможностей аналитического комплекса на основе рентгенофлуоресцентного энергодисперсионного спектрометра с детектором SDD-типа при анализе руд и продуктов обогащения // Горный журнал. 2014. № 11. С. 96–99.
5. Уилер Д., Чамберс Д. Статистическое управление процессами. Оптимизация бизнеса с использованием контрольных карт Шухарта: пер. с англ. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2009.

6. ГОСТ Р 50779.42-99 (ISO 8258-91) Статистические методы. Контрольные карты Шухарта. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1999.
7. Любущенко А. Д., Черкас О. А., Харченко Г. Н., Клишевич Л. Г., Шаститко Т. С., Сапешко В. В., Стромский А. С. Разработка и внедрение системы статистических методов контроля и управления технологическими процессами и качеством выпускаемой продукции на РУП «ПО «Беларуськалий». — Минск. Научно-технический бюллетень — приложение «Нефтехимический комплекс». 2010. № 1(4).
8. 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.
9. Бондаренко А. В., Карамышев Н. И., Кацман Я. М. Нелинейное оценивание параметров в инженерной практике НПО «РИВС» // Горный журнал. 2011. № 10. С. 73–78. 

*Бондаренко Александр Владимирович,  
e-mail: A\_Bondarenko@rivs.ru  
Карамышев Николай Иванович,  
e-mail: N\_Karamyshev@rivs.ru  
Трушин Алексей Алексеевич,  
e-mail: A\_Trushin@rivs.ru  
Кацман Яков Менделевич,  
e-mail: Y\_Katsman@rivs.ru*

## "GORNYI ZHURNAL"/"MINING JOURNAL", 2014, № 11, pp. 100–104

<b>Title</b>	<b>Calculation of metals balance as an element of process control system of concentration plant</b>
<b>Author 1</b>	Name & Surname: <b>Bondarenko A. V.</b> Company: <b>RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)</b> Work Position: <b>Head of Analytical Center (AC), Deputy General Director</b> Scientific Degree: <b>Candidate of Engineering Sciences</b> Contacts: <b>e-mail: A_Bondarenko@rivs.ru</b>
<b>Author 2</b>	Name & Surname: <b>Karamyshev N. I.</b> Company: <b>RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)</b> Work Position: <b>Head of Programming Subdivision</b> Contacts: <b>e-mail: N_Karamyshev@rivs.ru</b>
<b>Author 3</b>	Name & Surname: <b>Trushin A. A.</b> Company: <b>RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)</b> Work Position: <b>Director of Automation Department</b> Scientific Degree: <b>Candidate of Engineering Sciences</b> Contacts: <b>e-mail: A_Trushin@rivs.ru</b>
<b>Author 4</b>	Name & Surname: <b>Katsman Ya. M.</b> Company: <b>IVS Joint Venture (Saint-Petersburg, Russia)</b> Work Position: <b>Principal Engineer</b> Scientific Degree: <b>Candidate of Engineering Sciences</b> Contacts: <b>e-mail: Y_Katsman@rivs.ru</b>
<b>Abstract</b>	The article addresses the issues of using the calculated balance of metal in conformance evaluation of a technology process and the production procedures and in detection of work points where the requisite performance is violated. The balance of metal is calculated according to the standard OST 48-157-79, where the measured values are adjusted, given the redundant data, using the maximum likelihood method, which reduces effect of measurement error on the estimate of the qualitative and quantitative parameters of a process. The features of software implementation of the described procedure are presented. The authors discuss the use of the calculated balance of metal in the analysis of state of a dressing process and in the statistical process control based on Shewhart charts (SC). With the said control charts, the process variability is analyzed, statistical controllability is evaluated and the need of human intervention (personnel or management) is defined. The authors describe a case study of SC involvement in the automatic process control at a processing plant. The authors insist on importance of continuous analysis of processes and the relevant training of specialists and managers for the efficient application of SC. The mathematical apparatus developed for automation of decision-making on control actions is characterized. The developed algorithms and programs are included in the RIVS shareable data base and are available for solving other problems in the framework of the general concept of the process and control information accumulation and organization.
<b>Keywords</b>	Ore dressing, process automation, balance of metal, calculation methods and algorithms, Shewhart charts.
<b>References</b>	1. Balans metallov. Raschety na elektronno-vychislitel'noy mashine. Spravochnoe posobie (Balance of metals. Computer calculations. Tutorial). Moscow : Nedra, 1991. (in Russian). 2. OST 48-157-79 «Raschet tekhnologicheskogo balansa metallov na obogatitel'nykh fabrikakh Ministerstva Tsvetnoy Metallurgii SSSR s primeneniem matematicheskikh metodov i elektronno-vychislitel'noy mashiny (Industry Standard 48-157-79 "Calculation of technological balance of metals at concentration plants of Ministry of Non-Ferrous Metallurgy of USSR, with application of mathematical methods and computer). Moscow, 1979. (in Russian). 3. Voevodin V. V., Petrina R. V. Kompleks algoritmov, osnovannykh na preobrazovaniyakh tipa Gaussa, v pakete lineynoy algebrы v sbornike «Chislennyy analiz na FORTRANe» (Complex of algorithms, based on Gauss-type dust-in basic linear algebra software in the collection "FORTRAN numerical analysis"). Moscow : Publishing House of Moscow State University, 1973. Iss. 3. 4. Bondarenko A. V., Nikandrov I. S., Andreev D. S. Otsenka vozmozhnostey analiticheskogo kompleksa na osnove rentgenofluorescentnogo energodispersionnogo spektrometra s detektorom SDD-tipa pri analize rud i produktov obogashcheniya (Assessment of possibilities of analytical complex on the basis of X-ray fluorescence energy-dispersion spectrometer with SDD-type detector in the time of analysis of ores and concentration products). Gornyi Zhurnal = Mining Journal. 2014. No. 11. 5. Donald J. Wheeler, David S. Chambers. Statisticheskoe upravlenie protsessami. Optimizatsiya biznesa s ispolzovaniem kontrol'nykh kart Shukharta (Understanding Statistical Process Control). Translated from English. Moscow : Alpina Business Books, 2009. 6. ГОСТ Р 50779.42-99 (ISO 8258-91). Statisticheskie metody. Kontrol'nye karty Shukharta (State Standard R 50779.42-99 (ISO 8258-91). Statistical. Shewhart charts). Moscow : Publishing House of Standards, 1999. (in Russian). 7. Lyubushchenko A. D., Cherkas O. A., Kharchenko G. N., Klishevich L. G., Shastitko T. S., Sapeshko V. V., Stromskiy A. S. Razrabotka i vnedrenie sistemy statisticheskikh metodov kontrolya i upravleniya tekhnologicheskimi protsessami i kachestvom vypuskaemoy produktsii na Respublikanskom unitarnom predpriyatii «Proizvodstvennoye obedinenie «Belaruskaliy» (Development and introduction of system of statistic methods of control and management of technological processes and quality of manufactured products at JSC «Belaruskali»). Nauchno-tekhnicheskii byulleten. Prilozhenie «Neftkhemicheskii kompleks» = Scientific-technical bulletin. Application "Oil-chemical complex". 2010. No. 1 (4). 8. Zimin A. V., Trushin A. A., Bondarenko A. V. Vektor razvitiya sredstv i sistem avtomatizatsii dlya gorno-obogatitel'nykh proizvodstv v Nauchno-Proizvodstvennom Obedinenii «RIVS» (Way of development of means and automation systems for mining-concentration productions in Scientific-Production Association "RIVS"). Gornyi Zhurnal = Mining Journal. 2014. No. 11. 9. Bondarenko A. V., Karamyshev N. I., Katsman Ya. M. Nelineynoye otsenivaniye parametrov v inzhenernoy praktike Nauchno-Proizvodstvennom Obedinenii «RIVS» (Non-linear accounting of parameters in engineering practice of Scientific-Production Association "RIVS"). Gornyi Zhurnal = Mining Journal. 2011. No. 10. pp. 73–78.