

8. Zatulovskiy K. A. Modding of Clarificr-Thickoier at Steady State. 62 Berg- und Hüttenmännischer Tag. *Innovation in Geoscience, Geoengineering and Metallurgy : Proceedings of the International Conference*. Freiberg. 2011. Vol. 1. pp. 156–162.
9. Proceedings of the Graduate School in Chemical Engineering. *Year book 2011*. Lappeenranta, Finland, 2011. pp. 287–289.
10. Shean B. J., Cilliers J. J. A review of froth flotation control. *International Journal of Mineral Processing*. 2011. Vol. 100, Iss. 3–4. pp. 57–71.
11. Advanced Process Control. The proven way to process optimization. *ABB*. Available at: https://library.e.abb.com/public/fa34b897958489a9c1257ad7005753d5/Brochure_APC_low.pdf (accessed: 05.05.2016).
12. cpmPlus Expert Optimizer. Advanced optimization for your industry. *ABB*. Available at: https://library.e.abb.com/public/a3004e27e4286e52c12576be0038ce06/cpmPlus_Exp_Opt_3BHS%20291766_lr.pdf (accessed: 05.05.2016).
13. Mielli Fabio. Advanced Process Control and Mineral Processing Applications. *Schneider Electric*. 2014. Available at: <http://blog.schneider-electric.com/mining-metals-minerals/2014/05/29/advanced-process-control-mineral-processing-applications/> (accessed: 28.04.2016).
14. Popkov Yu. N., Prokopov A. Yu., Prokopova M. V. Informational technologies in mining. Novocherkassk : Platov South-Russian State Polytechnic University, 2007. 202 p.
15. Gasper B. S. Information computer networks and process control systems : tutorial. Perm : Perm State Technical University, 2007. 123 p.

УДК 004.896:622.012

УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НА ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ: ОБЩИЙ ОБЗОР И СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

А. А. ЕРШОВ¹, зам. начальника сектора департамента АСУ, канд. техн. наук, A_Ershov@rivs.ru

Е. А. ИСАЕВ¹, начальник сектора департамента АСУ

¹ СП ЗАО «ИВС», Санкт-Петербург, Россия

Введение

Многие горно-обогатительные предприятия, внедряя традиционные автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП), не решают такие проблемы в управлении производством, как, например, автоматическая адаптация технологического процесса к изменяющимся показателям перерабатываемой руды, или полноценная поддержка принятия решений оператором-технологом, чтобы гарантировать корректность его действий. При этом нерешенность таких проблем может существенно ухудшать качественно-количественные характеристики конечного концентрата, что влечет за собой значительные финансовые потери. Вместе с тем в мировой практике уже существуют и активно внедряются эффективные технологии, которые предназначены для решения именно подобных проблем. Комплекс их обобщенно объединен в понятие автоматизированных систем усовершенствованного управления технологическими процессами (APC-система, от англ. Advanced Process Control).

Целью данной работы является повышение эффективности функционирования горно-обогатительных производств за счет разработки и внедрения APC-системы для поддержания оптимальных качественно-количественных показателей технологического процесса и минимизацию влияния на него человеческого фактора.

Обзор APC-систем в горно-обогатительном производстве

APC-система предполагает комплексное управление технологическим процессом на уровне регулирования качественно-

В качестве средства повышения эффективности горно-обогатительного производства рассматриваются автоматизированные системы управления технологическими процессами, имеющие общепринятое обозначение в западных источниках как Advanced Process Control (APC). В статье дано описание программного обеспечения APC-системы «Клевер» производства НПО «РИВС».

Ключевые слова: APC-системы, горно-обогатительное производство, программное обеспечение, система «Клевер», экранная форма.

DOI: dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.11.17

количественных показателей, а не автоматизацию отдельных контуров управления или отдельных звеньев производства. Если традиционные АСУТП используют ПИД-регуляторы, уставку на которые обычно задает оператор-технолог (например, требуемый уровень во флотомашине), то APC-система автоматически задает уставки на локальные контуры регулирования, исходя из глобальных требований к технологическому процессу (качеству, извлечению и т. д.) или выдает рекомендации по величине данных уставок, т. е. берет на себя часть функций оператора-технолога или даже группы технологов предприятия по принятию решений [1–4]. Результаты исследований по данному направлению не очень широко освещены в русскоязычных изданиях, но в смежных направлениях опубликовано значительное число работ, которые могут быть использованы в той или иной степени применительно к рассматриваемой области [5–7].

В комплекс технологий APC, реально пригодных для горно-обогатительных предприятий, обычно включают [1–3, 8]: сверку и контроль корректности получаемых данных от полевого уровня; машинное зрение; виртуальный контроль (англ.: virtual sensing или soft sensing) технологического процесса; управление с прогнозирующими моделями (MPC, от англ.: model predictive control); экспертное управление (экспертные системы и системы

APC-системы, функционирующие на основе ранее накопленных знаний об управлении производством на конкретном объекте и используемые для помощи в принятии решений оператором-технологом или даже для формирования данных решений вместо него самого, отнесены к группе *систем экспертного управления*. Системы данной группы реализуют автоматическое управление на основе набора ранее выработанных и внесенных в базу данных оптимальных решений (или «рецептов»), которые следует применять при определенных условиях (смена реагентных карт, перенаправление потоков пульпы, смена уставок на расходы воздуха во флотомашинах, изменение отдельных, наиболее значимых управляемых технологических параметров). Иногда такое управления даже называют «рецептурным». Информация от данных систем может поступать оператору-технологу в качестве рекомендаций или может напрямую передаваться в SCADA-систему и автоматически перезаписывать уставки технологического процесса. Стоит заметить, что подобных систем, предназначенных для горно-обогатительного производства и не реализующих никаких других APC-технологий, кроме собственно экспертного управления, практически не существует. Существующие аналогичные APC-системы [11 и др.] являются комплексными и сочетают в себе две или более APC-технологий из числа перечисленных выше.

Программное обеспечение (ПО) APC-системы «Клевер»

Основными функциями программного пакета системы «Клевер» являются:

- сбор, хранение и анализ основных технологических показателей по всем переделам производства (от поступления, переработки и складских запасов руды до выпуска готовых концентратов);
- расчет отдельных качественно-количественных показателей для технологических переделов и обогатительной фабрики в целом;
- контроль отдельных показателей и оптимизация управления с применением машинного зрения;
- экспертное автоматическое или автоматизированное управление технологическими процессами с учетом сортности перерабатываемых руд или любых других факторов, влияющих на технологический процесс (настраиваемый функционал: прямая запись уставок в SCADA или рекомендации оператору-технологу в SCADA);
- сбор, хранение и анализ расхода энергии и материалов (реагентов, шаров, фильтроткани и др.);
- автоматическое формирование различных отчетов по накапливаемым данным;
- информатизация процесса документооборота (электронный документооборот) на предприятии;
- интеграция основных технологических данных на уровень ERP.

Таким образом, система «Клевер» сочетает в себе элементы MES и APC. При этом в ней реализованы следующие APC-

технологии: машинное зрение, виртуальный контроль, экспертное управление. В данной статье описание MES-функций ПО «Клевер» опущено по причине концентрации на APC-функционале*.

Пример экранной формы ПО «Клевер» для модуля машинного зрения показан на **рис. 1**. Кроме контроля пенного продукта (для пены ПО «Клевер» контролирует несколько показателей, включая размер пузырьков, скорости их передвижения и схлопывания), модуль машинного зрения системы также может быть использован для контроля конвейерного продукта (прежде всего, контроля крупности руды и равномерности ее подачи).

Один из элементов ПО «Клевер», сочетающий в себе технологии виртуального контроля APC и функционал производственной отчетности MES-систем, — это функция расчета и онлайн контроля технологического и товарного баланса, причем часть данных, используемых при расчете, может быть виртуально полученной (это зависит от особенностей технологии, степени охвата средствами контроля и степени информатизации процесса документооборота); т. е. она может вводиться вручную через автоматизированные рабочие места, но будет достоверной, потому что уточняется через сложную математическую модель расчета балансов. Экранная форма ПО «Клевер» для функции расчета технологического и товарного баланса показана **рис. 2**. В его таблицах показываются технологические данные по всем этапам переработки сырья, а на график можно выводить информацию по любому из этих этапов.

Создание и внедрение систем экспертного управления предполагает большой объем работы по переносу экспертных знаний об объекте управления в конкретный программный продукт или работающую модель, т. е. невозможно взять существующий программный продукт такого класса с любого объекта и использовать его без адаптации на новом объекте. С учетом этих реалий происходит и адаптация ПО «Клевер» для горно-обогатительных производств: на начальном этапе внедрения системы разработчиками АСУТП совместно с технологами осуществляется детальная подготовка, в ходе которой весь объект управления (включая все переделы: рудоподготовка, флотация и др.) условно разбивается на отдельные контуры технологического управления, каждый из которых имеет набор входных параметров (качественные и локальные физические величины на входе), набор выходных параметров (качественные и локальные физические величины на выходе) и набор регуляторов, влияющих на передаточную функцию контура (набор и расходы дозируемых реагентов, расходы воздуха и др.). Так как все контуры связаны друг с другом, то формируется набор взаимосвязей между выходами предыдущих контуров со входами последующих. Входными параметрами первого контура являются показатели руды, поступающей на фабрику. Принципы функционирования подобной системы, как и подход к ее созданию, уже ранее описывался специалистами НПО «РИВС»

* Для любых приводимых в статье примеров экранных форм ПО «Клевер» конкретные технологические данные и отдельные детали технологических схем были изменены или фрагментированы, а отображаемые даты отчетов, фамилии операторов и наименования месторождений были заретушированы в целях неразглашения конфиденциальной информации заказчиков. Конкретный пример внедрения ПО «Клевер» описан в другой статье «Опыт создания АСУТП на Николаевской ОФ», представленной в настоящем номере «Горного журнала».

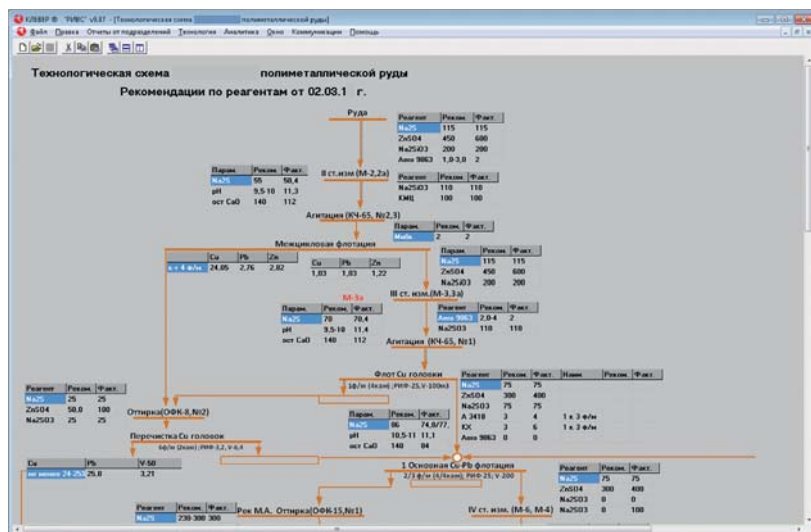


Рис. 3. Экранная форма ПО «Клевер» для функции экспертного управления

в «Горном журнале» [12]. Сформулированные ранее подходы и алгоритмы были реализованы при создании ПО «Клевер».

Далее, обычно в ходе долговременной совместной работы технологов компании «РИВС» и заказчика, собирается статистика протекания технологических процессов в каждом контуре, что позволяет выделить оптимальные параметры входа и выхода для каждого контура, а также выявить закономерности процессов влияния локальных регуляторов на них. Формируются реагентные карты, алгоритмы влияния на параметры контуров и др. Кроме параметров каждого контура, выявляются показатели всего технологического процесса, определяющие общую его эффективность. Специалистами НПО «РИВС» также предложен принцип автоматического формирования успешных рецептов (т. е. самообучение системы), который описан в статье А. А. Трушина, опубликованной в настоящем номере «Горного журнала».

Экспертный модуль ПО «Клевер» работает следующим образом. Проводится мониторинг состава руды, поступающей на переработку, и так называемого общего критерия эффективности технологического процесса (представляющего собой набор задаваемых технологом параметров, для которых контролируются и регулируются требуемые пределы). Если контролируемые параме-

тры оказываются в требуемой зоне, то функция экспертного управления не активируется. В обратном случае ведется анализ локальных параметров для каждого контура управления, определяется «неэффективный» контур или группа контуров и, в соответствии с выявленными ранее закономерностями процессов влияния локальных регуляторов, осуществляется их корректировка (изменение реагентного режима, уровней пульпы или расходов воздуха и др.), локальные параметры возвращаются в требуемые пределы, и, соответственно, общий критерий эффективности также оказывается в требуемых пределах.

На рис. 3 приведен фрагмент экранной формы ПО «Клевер», на котором отображается часть технологической схемы с указанием фактических и рекомендованных оператору-технологу значений технологических параметров («установок»), соответствующих текущим условиям процесса.

Расчетная эффективность от внедрения ПО «Клевер» компании «РИВС» определяется прежде всего повышением извлечения металлов в соответствующие концентраты и составляет обычно около +0,5 %. Кроме этого, внедрение APC-систем в целом позволяет оптимизировать организацию работы персонала предприятий.

Заключение

В данной работе подчеркнута актуальность разработки APC-систем, сделан общий обзор реально применяемых APC-технологий в горно-обогатительном производстве и кратко описаны возможности программного обеспечения системы «Клевер» компании «РИВС». Внедрение этой системы позволит поддерживать оптимальные качественно-количественные технологические показатели фабрики и свести к минимуму влияние человеческого фактора в процессах управления производством.

Библиографический список

1. Sbarbaro D., René del Villar. Advanced Control and Supervision of Mineral Processing Plants. — London : Springer, 2010. — 310 p.
2. Remes A. Advanced Process Monitoring and Control Methods in Mineral Processing Applications. — Espoo : Aalto University, 2012. — 76 p.
3. Hodouin D. Methods for automatic control, observation, and optimization in mineral processing plants // Journal of Process Control. 2011. Vol. 21, Iss. 2. P. 211—225.
4. Mielli F. Advanced Process Control and Mineral Processing Applications // Schneider Electric : [website]. URL: <http://blog.schneider-electric.com/mining-metals-minerals/2014/05/29/advanced-process-control-mineral-processing-applications/> (дата обращения: 28.04.2016).
5. Ершов А. А. Способ и оценка эффективности интеллектуализации разработки АСУ для сложных производственно-технических систем // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1. URL: <http://www.science-education.ru/107-8430> (дата обращения: 26.08.2016).
6. Фомин Я. А. Распознавание образов: теория и применения. 2-е изд. — М.: ФАЗИС, 2012. — 429 с.
7. Дороганов В. С. Интеллектуальная информационная система подготовки шихты для производства кокса заданного качества // Современные проблемы производства кокса и переработки продуктов коксования : сб. докл. II Всеросс. науч.-практич. конф. — Кемерово : КузГТУ, 2014. С. 58—59.
8. Advanced process control for the minerals industry // FLSmidth : [website]. URL: <http://www.flsmidth.com/DFAODED8-BE66-4620-BD96-DE706E02C2A4> (дата обращения: 28.04.2016).
9. Shean B. J., Cilliers J. J. A review of froth flotation control // International Journal of Mineral Processing. 2011. Vol. 100, Iss. 3-4. P. 57—71.
10. ФлнтофФ Б. Совершенствование технологий Metso по обогащению полезных ископаемых // Горная промышленность. 2012. № 5(105) С. 24.
11. cpmPlus Expert Optimizer Advanced optimization for your industry. URL: https://library.e.abb.com/public/a3004e27e4286e52c12576be0038ce06/cpmPlus_Exp_Opt_3BHS%20291766_Ir.pdf (дата обращения: 05.05.2016).
12. 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. **DOI**

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 11, pp. 89–93
DOI: dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.11.17

Improvement of mineral mining and processing control: Review and special program support

Information about authors

A. A. Ershov¹, Deputy Head of a sector of Automatic Control System Department, Candidate of Engineering Sciences, A_Ershov@rivs.ru

E. A. Isaev¹, Head of a sector of Automatic Control System Department

¹ IVS Joint Venture, Saint-Petersburg, Russia

Abstract

As the tool of enhancing efficiency of mining and processing flow control, the article addresses the automatic systems belonging in the class of Advanced Process Control (APC). A brief description and examples of products are given for the actually applied APC techniques and technologies in mining and processing, functions of application software Klever developed by RIVS are presented, and potential efficiency of this product introduction is estimated.

The implementation of Klever software makes it possible to maintain qualitative and quantitative indexes of performance of a processing plant and to minimize human factor impact in the production control. As a result, economic efficiency of mining and processing enhances due to more complete extraction of metals and owing to optimized cost of processing plant personnel.

Keywords: APC systems, mining and processing industry, program support, Klever software, screen image.

References

1. Sbárbaro D., René del Villar. *Advanced Control and Supervision of Mineral Processing Plants*. Daniel Sbárbaro. London: Springer, 2010. 310 p.

2. Remes A. *Advanced Process Monitoring and Control Methods in Mineral Processing Applications*. Espoo: Aalto University, 2012. 76 p.
3. Hodouin D. Methods for automatic control, observation, and optimization in mineral processing plants. *Journal of Process Control*. 2011. Vol. 21, Iss. 2. pp. 211–225.
4. Mielli F. *Advanced Process Control and Mineral Processing Applications*. Schneider Electric. Available at: <http://blog.schneider-electric.com/mining-metals-minerals/2014/05/29/advanced-process-control-mineral-processing-applications/> (accessed: 28.04.2016).
5. Ershov A. A. Method and evaluation of efficiency for intellectualization of control systems development for complex industrial-technical systems. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2013. No. 1. Available at: <http://www.science-education.ru/107-8430> (accessed: 26.08.2016).
6. Fomin Ya. A. *Pattern classification: theory and applications*. Second edition. Moscow: FAZIS, 2012. 429 p.
7. Doroganov V. S. Intellectual information system of charge preparation for the required-quality coke production. *Modern problems of coke production and coking product processing: collection of reports of the II All-Russian scientific-practical conference*. Kemerovo: Kuzbass State Technical University, 2014. pp. 58–59.
8. Advanced process control for the minerals industry. *FLSmidth*. Available at: <http://www.flsmidth.com/DFA0DED8-BE66-4620-BD96-DE706E02C2A4> (accessed: 28.04.2016).
9. Shean B. J. A review of froth flotation control. B. J. Shean, J. J. Cilliers. *International Journal of Mineral Processing*. 2011. Vol. 100, Iss. 3–4. pp. 57–71.
10. Brian Flintoff. Refining Metso mineral processing technologies. *Gornaya Promyshlennost*. 2012. No. 5(105). p. 24.
11. cpmPlus Expert Optimizer Advanced optimization for your industry. Available at: https://library.e.abb.com/public/a3004e27e4286e52c12576be0038ce06/cpmPlus_Exp_Opt_3BHS%20291766_lr.pdf (accessed: 05.05.2016).
12. 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.

УДК 004.896:622.7.012

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СИТУАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А. А. ТРУШИН¹, директор департамента АСУ, канд. техн. наук,
A_Trushin@rivs.ru

¹ СП ЗАО «ИВС», Санкт-Петербург, Россия

Введение

Одной из наиболее сложных технических проблем, возникающих при внедрении автоматизированных систем управления технологическими процессами, является автоматизация процедуры формирования управляющих воздействий, обеспечивающих достижение технологических показателей, соответствующих некоторым заданным критериям эффективности. Многократные попытки решения такого рода задачи, заканчивавшиеся достижением в той или иной мере положительных результатов, имели специфическое применение и не привели к созданию универсального инструмента, позволяющего успешно справляться с вышеуказанной задачей.

В настоящей работе изложен один из возможных подходов к реализации режима автоматического управления сложными технологическими объектами управления — применение принципа ситуационного контроля. Метод претендует на универсальность и эффек-

Рассмотрен один из реализуемых с помощью современных технических средств возможных подходов к решению задач управления технологическими процессами обогащения — принцип ситуационного управления.

Основная идея — применение формальных методов, позволяющих осуществить накопление информации, способствующей достижению наилучших результатов в процессе переработки конкретных технологических сортов руд данного месторождения, а также извлечение режимных значений управляющих воздействий, обеспечивших наилучшие показатели в прошлом при переработке аналогичных руд.

Приведен пример создания новых технических средств, способствующих реализации рассматриваемого метода управления.

Ключевые слова: технологические процессы обогащения, экспертные системы, алгоритмы управления, ситуационный контроль, технические средства автоматизации, автоматизация технологических исследований.

DOI: dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.11.18

тивность решения задачи автоматического управления различными технологическими процессами обогатительного производства.