

УДК 622.73:622.371

В.Г. Ульянов, А.А. Вишневский, Н.Е. Пахомов

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО СОГЛАСОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРКОМ РЕНТГЕНОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СЕПАРАТОРОВ НА АЛМАЗОИЗВЛЕКАТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ

Рассмотрены особенности обогащения кимберлитов на рентгенолюминесцентных сепараторах. Обоснованы подходы к управлению режимами. Рассмотрены зависимости переменных процесса от нагрузки и свойств исходной руды. Определены задачи и структура системы оптимального управления. Рассмотрены функции подсистем контроля и управления.

Ключевые слова: автоматизированная система, оптимальное управление, рентгенолюминесцентный сепаратор, обогатительная фабрика, алмаз, загрузка, уровень разделения.

Введение

Процесс рентгенолюминесцентной сепарации является одним из основных технологических процессов обогащения кимберлитовых руд, обеспечивающий эффективное извле-

чение алмазов при поддержании оптимальных режимов сепарации. На обогатительных фабриках АК «АЛРОСА» используются сепараторы производства НПП «Буревестник» различных конструкций и производительности.

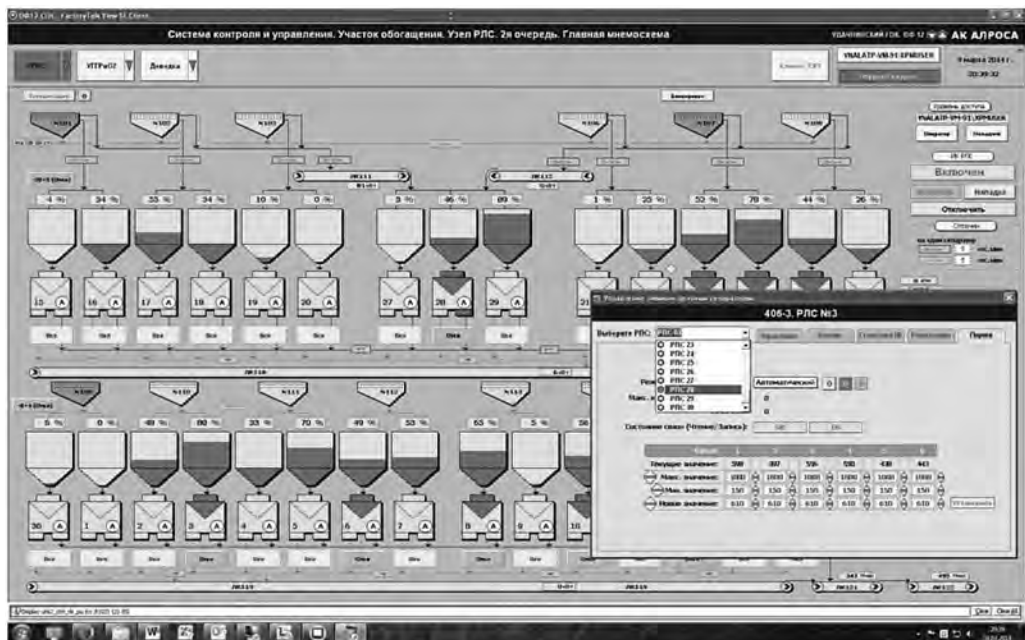


Рис. 1. Система контроля и управления. Участок обогащения

Принцип работы сепаратора основан на использовании свойств алмазов люминесцировать под воздействием рентгеновского излучения. Материал подается в зону сепарации через управляемый гравитационный или вибрационный питатель. По формирующему наклонному лотку руда поступает в зону облучения рентгеновскими лучами. Под воздействием рентгеновского облучения алмазы и некоторые минералы начинают люминесцировать. Видимый свет рентгенолюминесценции попадает на фотоэлектронный умножитель. Сигнал ФЭУ поступает в блок регистрации. Если сигнал соответствует заданным критериям селекции, то алмаз пневмоотсекателем выделяется в концентрат. При селекции используются различия кинетических характеристик излучения сопутствующих люминесцирующих минералов и алмазов. Технологическая схема обработки руды предусматривает ее измельчение и последующую классификацию. Классы крупности -50+16

и -16+5 мм поступает на сепараторы первичного обогащения типа ЛС-20-05. Доводка концентратов этих сепараторов осуществляется на сепараторах, ЛС-20-04, ЛС-ОД-50-03. Материал крупности -5+2 мм обогащается на установках тяжелосредной сепарации и отсадочных машинах. Концентрат ТСУ проходит доводку на сепараторах ЛС-Д-4-03. Материал крупностью -2+0,5 мм обогащается с использованием процессов винтовой и пенной сепарации. Окончательная доводка концентратов класса -5+0,5 мм осуществляется по «сухой схеме» на сепараторах ЛС-Д4-04 и на сепаратора ЛС-ОД-4-04, ЛС-ОД6 с позерновой подачей материала.

Основные задачи управления

Для оптимального ведения технологических процессов в условиях постоянных значительных колебаний состава и свойств исходной руды, нагрузки, параметров энергоресурсов необходима оперативная подстройка режимов

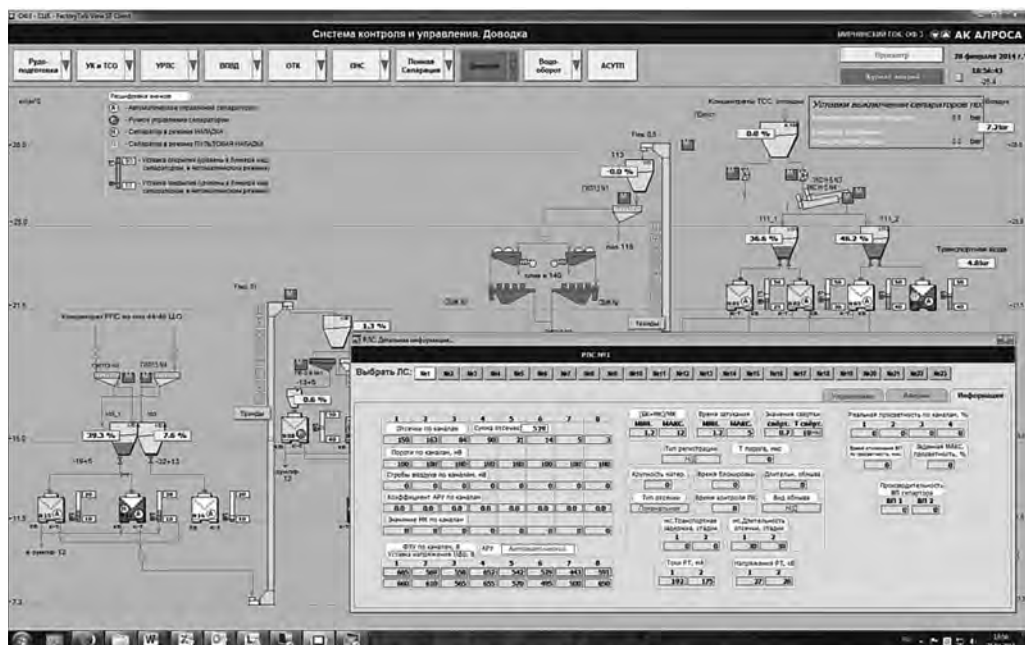


Рис. 2. Система контроля и управления. Доводка

сепарации. Создание эффективных систем управления требует выявления и учета взаимного влияния на процесс внешних факторов и режимных параметров основных систем сепаратора. Управление процессами на алмазных фабриках осложняется отсутствием возможности оперативного прямого контроля содержания и извлечения алмазов, ввиду очень низкого содержания полезного компонента в исходной руде.

Изучение свойств исходного сырья, закономерностей сепарации, анализ практики ведения технологических процессов позволили получить взаимозависимости параметров процесса и определить задачи управления, подходы к разработке систем управления. Эти подходы включают:

- оперативный мониторинг всех систем и дистанционное управление состоянием сепараторов в режиме реального времени;
- полный охват средствами инструментального контроля основных параметров процесса;
- регулирование и компенсация дестабилизирующих факторов;
- оптимизация режимов и согласованное управление процессами по технологической цепи.

Структура системы

Для комплексного решения задач управления разработана интегрированная система оптимального согласованного управления парком рентгенолюминесцентных сепараторов.

Система построена на единой унифицированной базе технических и программных средств, объединяет все системы в единую взаимосвязанную технологическую систему контроля, учета и оптимального управления режимами переделов рентгенолюминесцентной сепарации. Основу программно-технического комплекса системы составляет ПТК фирмы Rockwell Automation,

специализированные промышленные компьютеры, комплекс средств измерения, включая ряд нестандартных датчиков и устройств контроля. Система разработана как составная часть системы централизованного контроля и управления АСУТП фабрики и включает:

- систему централизованного контроля и управления переделом РЛС;
- систему индикаторного контроля сепараторов;
- систему контроля параметров сепараторов;
- систему оптимального управления режимами РЛС;
- систему формирования и учета ТЭП.

Система централизованного контроля и управления переделами РЛС охватывает все оборудование переделов РЛС участков обогащения и доводки. Система обеспечивает сбор и представление информации по переделам, сигнализацию и протоколирование нарушений, дистанционное управление оборудованием, управление подачей сжатого воздуха, транспортной воды, воды на охлаждение рентгеновских трубок и др.

Система индикаторного контроля осуществляет автоматический косвенный контроль механического извлечения сепараторов путем периодического ввода в сепараторы индикаторов (имитаторов алмаза) и их регистрации в продуктах обогащения.

Система контроля параметров РЛС охватывает все сепараторы участков обогащения и доводки. Осуществляется мониторинг параметров и режимов работы всех систем сепаратора, выявление различных нарушений в механическом и рентгенооптическом тракте сепараторов.

В состав контроля по каждому сепаратору входит несколько десятков параметров в зависимости от количества каналов и типа сепаратора.

Мониторинг охватывает все основные параметры сепараторов: режимы функционирования, виды аппаратных аварий, производительность, просветность, просыпь руды в концентрат, расход транспортной воды, давление воздуха, запрессовка питателя и хвостовой течки, параметры работы пневмоклапанов, обмыва и регулирования ФЭУ, число отсечек, пороги разделения, напряжение и уставки ФЭУ, токи и напряжения РТ, уровень люминесценции воздуха и минералов, параметры селективного режима и др. Система также обеспечивает дистанционное управление режимами функционирования, параметрами производительности, порогов разделения, параметров селекции, напряжением ФЭУ, заданием параметров отсечки и др. Мониторинг и дистанционное управление сепараторами осуществляется по каналам связи Ethernet с протоколом ModBus TCP.

Система формирования и учета ТЭП обеспечивает формирование технико-экономических показателей работы оборудования переделов РПС, создание отчетов, рапортов и сводок. Обеспечивает возможность ввода и редактирования данных, экспорта и обработки данных в MS Excel, просмотр отчетов с помощью Web-сервера.

Система оптимального управления режимами РПС включает три основных направления повышения эффективности процессов сепарации: совершенствование режимов управления загрузкой сепараторов, развитие способов управления уровнем разделения и селекции, согласованное оптимальное управление процессом по технологической цепи.

Система управления загрузкой предусматривает оптимальное управление производительностью как отдельных, так и групп сепараторов в условиях колебания расхода поступающей руды.

Изучение характера движения потока руды на формирующем наклонном лотке различных типов сепараторов проводилось с использованием скоростной цифровой видеокамеры. Было выявлено, что различные нарушения процесса возникают при колебаниях нагрузки, что приводит к изменению скорости и характера движения потока, перекрытию алмазов материалом. Дестабилизируют процесс также колебания давления воздуха и транспортной воды, загрязненность материала, износ лотка, запрессовки питающей и хвостовой течек.

Исследования и анализ материалов скоростной съемки позволили выявить взаимосвязности параметров и использовать их для оптимизации режимов управления всех типов сепараторов.

Сепараторы первичного обогащения типа ЛС-20-05:

- для каждого класса крупности существует достаточно узкий диапазон оптимальной производительности. При этой производительности сохраняется стабильная скорость и монослойное движение материала. При увеличении производительности увеличивается скорость движения материала, повышается доля перекрытия зерен, увеличивается выход материала на отсечку. При снижении производительности повышается неравномерность вектора движения зерен материала, повышается вероятность просыпи в концентрат, запрессовки разгрузочной щели гравитационного питателя;

- при подаче материала без рудной подушки в бункере («на проход»), скорость и направление движения материала по лотку становятся переменными, поток приобретает неустойчивый характер;

- во время включения-выключения питателя движение материала по лотку также носит неустойчивый характер;

- изменение расхода транспортной воды не выявило заметного влияния на формирование и движение потока.

С учетом выявленных зависимостей были определены и реализованы задачи управления загрузкой сепараторов. Система оптимального управления загрузкой предусматривает:

- поддержание уровня в питающих бункерах. Система осуществляет регулирование количества включенных сепараторов и поддержание над сепараторами рудной подушки;

- поддержание оптимальной производительности сепаратора. Система осуществляет регулирование коэффициента заполнения лотка (просветности) изменением положения шибера гравитационного питателя. Также производится контроль характера движения материала по потоку путем измерения величины просыпи материала в концентрат;

- технологические блокировки поточно-транспортной схемы, включая регулирование (ограничение) количества одновременно включаемых сепараторов.

Сепараторы типа ЛС-20-04, ЛС-ОД50-03:

- для этих сепараторов также существует диапазон оптимальной производительности, в котором сохраняются стабильная скорость и монотонное движение материала. Так как материал в эти сепараторы подается вибрационным питателем, то у них более широкий рабочий диапазон производительности;

- при работе «на проход» скорость и характер движения материала по лотку становятся нестабильными;

- в момент включения питателя образуется волна материала, которая двигается по лотку неравномерно и в несколько слоев;

- расход транспортной воды заметно влияет на формирование и дви-

жение потока материала у сепараторов типа ЛС-ОД50-03.

Для этих сепараторов система управления загрузкой предусматривает:

- поддержание уровня в питающих бункерах. Уровень поддерживается регулированием производительности сепараторов изменением скорости вибропитателей;

- выравнивание производительности по параллельно включенным сепараторам под одним бункером. Измерение производительности вибропитателей осуществляется с применением инфракрасного лазерного датчика коэффициента заполнения лотка;

- поддержание оптимального расхода транспортной воды в сепараторы типа ЛС-ОД50-03. В системе предусмотрена стабилизация давления в магистрали и измерение расхода подаваемой в сепаратор воды.

Сепараторы типа ЛС-Д4-03:

- так как в эти сепараторы питание подается гравитационным питателем с калибрующей насадкой, то характер движения потока по лотку очень чувствителен к колебаниям расхода транспортной воды.

Для этих сепараторов система управления загрузкой предусматривает:

- поддержание уровня в питающих бункерах включением-выключением гравитационного питателя с обеспечением работы сепараторов с рудной подушкой;

- поддержание оптимального расхода транспортной воды в сепараторы; расход воды регулируется так же, как на сепараторах ЛС-ОД50-03;

- технологические блокировки поточно-транспортной схемы.

Система управление уровнем разделения предусматривает оптимальное управление порогом чувствительности и параметрами селекции с целью достижения максимального извлечения сепараторов в условиях колебаний содержания люминесцирующих минера-

лов в исходной руде и различных отклонений процесса. Отклонения возникают как при колебаниях нагрузки, так и при плохой отмывке материала, флуктуациях интенсивности излучения рентгеновских трубок, чувствительности ФЭУ, загрязнения окон РТ и ФЭУ, повышения температуры и др.

Настройка сепараторов осуществляется по эталонным имитаторам. Яркость имитаторов для каждого класса крупности выбирается для средних величин содержания сопутствующих люминесцирующих минералов, а также с учетом ограничения интенсивности отсечек на сепаратор по механическим причинам. Изучение рентгенолюминесценции минералов различных месторождений, интегральных кривых распределения алмазов по интенсивности показывает, что в руде каждого класса крупности находится значительное количество алмазов, имеющих яркость свечения ниже эталонного уровня, в том числе это алмазы следующего класса крупности, попадающие в питание с замельчением. При этом необходимо учитывать, что реальный рабочий уровень разделения каналов регистрации получается несколько выше эталонного уровня за счет влияния дестабилизирующих факторов. Так как эталонный уровень разделения выбирался с учетом среднего содержания люминесцирующих минералов, то при уровне содержания люминесцирующих минералов ниже среднего целесообразно повышать чувствительность сепараторов. Оперативное регулирование уровня разделения дает возможность дополнительно извлечь и слаболюминесцирующие алмазы.

С учетом выявленных зависимостей были определены и реализованы задачи системы оптимизации уровня разделения сепараторов:

- На сепараторах первичного обогащения типа ЛС-20-05:

- поддержание заданной интенсивности отсечек на сепаратор;

- выравнивание чувствительности по каналам сепаратора.

- На доводочных сепараторах типа ЛС-20-04 и ЛС-ОД50-03:

- выравнивание чувствительности по каналам и сепараторам.

- На доводочных сепараторах типа ЛС-Д4-03, ЛС-Д4-04:

- выравнивание чувствительности по каналам и сепараторам.

Система согласованного управления осуществляет согласование и оптимизацию параметров процесса технологических переделов по схеме материала от операций первичного обогащения до операций доводки концентратов. Система предусматривает:

- регулирование суммарного выхода концентрата передела первичного обогащения с целью поддержания оптимальной производительности доводочных сепараторов типа ЛС-20-04. Регулирование выхода концентрата осуществляется изменением задания интенсивности отсечек по сепараторам ЛС-20-05;

- регулирование уровня разделения доводочных сепараторов ЛС-20-04 пропорционально изменению суммарного количества отсечек сепараторов передела первичного обогащения, т.е. выравнивание суммарного количества отсечек сепараторов ЛС-20-04 по количеству отсечек передела РЛС сепараторов типа ЛС-20-05.

Создание и внедрение интегрированной системы управления парком РЛС позволяет более оперативно, с более высоким качеством осуществлять контроль работы сепараторов, обеспечивает повышение стабильности ведения технологических процессов, поддержание оптимальных режимов работы сепараторов и всей технологической схемы, что повышает извлечение алмазов, улучшает технологические и производственные показатели работы переделов РЛС.

Ульянов Виталий Геннадьевич – заведующий лабораторией АСУТП,
e-mail: UlyanovVG@alrosa.ru,

Вишневецкий Алексей Анатольевич – главный специалист, e-mail: VishnevskiyAA@alrosa.ru,

Пахомов Николай Егорович – заведующий сектором, e-mail: PakhomovNE@alrosa.ru,

Институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.И. Педагогика: учебный курс для творческого саморазвития. 2-е изд. – Казань: Центр инновац. технологий, 2000. – 608 с.

2. Галкин А.Л., Максимова Н.И. Аспекты мотивации обучения студентов в Горном университете // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 361–370.

3. Иванова М.А. Технология развития профессиональной компетенции у студентов инженерного вуза на основе самообразовательной деятельности // Известия Российского педагогического университета им.

А.И. Герцена. – 2008. – № 65. – С. 389–393.

4. Федорова О.Н. Обучение английскому языку студентов неязыкового вуза на основе компетентностного подхода: дисс. ... канд. пед. наук. – СПб., 2007. – 278 с.

5. Симонова А.Н. Формирование коммуникативно-проектировочных умений у студентов неязыкового вуза при обучении иностранному языку: автореф. дисс. ... канд. пед. наук. – Екатеринбург, 2012. – 23 с.

6. Общеевропейские компетенции владения иностранным языком: изучение, преподавание, оценка. – М.: Рема, 2003. – 256 с. **ГИАЭ**

UDC 622.73:622.371

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM OF OPTIMUM FLEET MANAGEMENT AGREED ON THE X-RAY SEPARATORS ALMAZOIZVLEKATELNOY FACTORY

Ulyanov V.G., Head of Laboratory, e-mail: UlyanovVG@alrosa.ru,
Vishnevskii A.A., Chief Specialist, e-mail: VishnevskiyAA@alrosa.ru,
Pakhomov N.E., Head of Division, e-mail: PakhomovNE@alrosa.ru,
Institute «Yakutniproalmaz» Corporation «ALROSA»,
Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), Russia.

The features of kimberlites on enrichment of X-ray separators. The approaches to the management regimes. Considered depending on the load of the process variables and properties of the original ore. Defined management tasks and structure of the optimal control system. Considered the functions of management and control subsystems.

Key words: automated system, optimal control, X-ray separators, concentrator, diamond, download, split level.

REFERENCES

1. Andreev V.I. *Pedagogika: uchebnyi kurs dlya tvorcheskogo samorazvitiya*. 2-e izd. (Pedagogy: Training course on creative self-development, 2nd edition), Kazan, Tsentr innovats. tekhnologii, 2000, 608 p.

2. Galkin A.L., Maksimova N.I. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2014, no 4, pp. 361–370.

3. Ivanova M.A. *Izvestiya Rossiiskogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gertsena*. 2008, no 65, pp. 389–393.

4. Fedorova O.N. *Obuchenie angliiskomu yazyku studentov neyazykovogo vuza na osnove kompetentnostnogo podkhoda* (Competency-based approach to teaching English to students of non-linguistic institutions), Candidate's thesis, Saint-Petersburg, 2007, 278 p.

5. Simonova A.N. *Formirovanie kommunikativno-proektirovochnykh umenii u studentov neyazykovogo vuza pri obuchenii inostrannomu yazyku* (Formation of communication planning skills in non-linguistic institution students in learning a foreign language), Candidate's thesis, Ekaterinburg, 2012, 23 p.

6. *Obshcheevropeiskie kompetentsii vladeniya inostrannym yazykom: izuchenie, prepodavanie, otsenka* (Pan-European foreign language competence: Learning, teaching, valuation), Moscow, Rema, 2003, 256 p.