

4. Український НДІ промислової медицини / Збірник статистичних матеріалів з професійної захворюваності працівників гірничо-металургійного комплексу України за 2014–2015 рр. // Кривий Ріг, 2015 - 75 с.
5. Український НДІ промислової медицини / Збірник статистичних матеріалів з професійної захворюваності працівників гірничо-металургійного комплексу України за 2003–2007 рр. // Кривий Ріг – 2008. – 75 с.
6. **Басанець А.В.** Проблеми професійної патології та шляхи їх вирішення на сучасному етапі / **Басанець А.В., Лубянова І.П.** // ДУ «Інститут медицини праці АМН України», м. Київ 1 (17), 2009.
7. **Басанець А.В.** Професійна захворюваність в Україні / **Басанець А., Лубянова І.П., Тімошина Д.Ф.**, // Журнал Охорона праці № 10. - 2008.
8. **Кундієв Ю.І.**, Професійне здоров'я в Україні і його роль у збереженні трудового потенціалу / **Кундієв Ю.І., Нагорна А.М., Чернюк В.І.** // Український журнал з проблем медицини праці, 2007.– №4.– С. 10-17.
9. Измерова Н.Ф. Профессиональный риск для здоровья работников / **Измерова Н.Ф., Денисова Э.И.**, // М.: Тривант, 2003. – 448 с.
10. **Гогіташвілі Г.Г.** Управління охороною праці за міжнародними стандартами / **Гогіташвілі Г.Г., Карчевські Є.Т., Лапін В.М.** // К.: Знання, 2007.– 367с.
11. FMEA–методология для качественной оценки рисков // [Електронний ресурс] Режим доступа: <http://www.cfin.ru/finanalysis/invrisk/FMEA-methodology>
12. Управління ризиками. Методи оцінки ризику // [Електронний ресурс] Режим доступа: <http://westudents.com.ua/glavy>
13. Методичні рекомендації. Системи управління охороною праці. Порядок проведення робіт по оцінці ризику в галузі охорони праці. Мінськ, 2006.
14. Закон України «Про затвердження Загальнодержавної соціальної програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2014-2018 рр.» [електронний ресурс] Режим доступа: <http://zakon2.rada.gov.ua>
15. ДСанПін «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості і небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» № 248 від 08.04.2014 року.
16. О профилактике профессиональных заболеваний на предприятиях горно-металургического комплекса / русская газета - №5 (031), 2005.

Рукопис подано до редакції 31.03.16

УДК 519.714: 622.7

А.И. КУПИН, д-р техн наук, Н.В. МОРКУН, канд. техн. наук, доц.,
Криворожский национальный университет

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ МОДЕЛИ

На основе использования предложенных принципов автоматизированного управления и алгоритмов оптимизации технологического процесса обогащения с учетом технологических разновидностей руды разработана общая структурная схема прототипа автоматизированной системы управления обогащением, предназначенная для практической реализации.

Для повышения эффективности функционирования горнорудных предприятий в условиях рыночных отношений необходимо снижение себестоимости и энергоемкости технологических процессов добычи и переработки сырья. В структуре затрат энергии горнорудными предприятиями доля рудообогатительной фабрики составляет около 20 %, а по расходу электроэнергии обогатительный передел является наиболее энергоемким – на него приходится около 44 % от потребляемого на предприятии объема.

Эффективность технологических процессов рудообогатительной фабрики зависит от физико-механических и химико-минералогических характеристик минерало-технологических разновидностей перерабатываемой руды, распределенных по всей протяженности технологических линий обогащения. Однако этот факт в не учитывается в полной мере существующими системами управления в частности из-за отсутствия необходимых методов моделирования и управления такими процессами, а также из-за отсутствия способов и средств оперативного контроля характеристик руды в технологических потоках.

В современных условиях совершенствование и интенсификация любых непрерывных технологических процессов обогатительных производств не возможно без автоматического контроля, управления и регулирования. Осуществлять оптимальное управление интенсифицированными технологическими процессами крупных и сложных промышленных объектов без использования новейших методов и средств или не эффективно, или не представляется возможным. Применение методов распределенного оптимального управления взаимосвязанными процессами обогатительного производства является перспективным подходом к решению задачи обеспечения необходимых характеристик продукции обогатительного производства в условиях изменения характеристик минерало-технологических разновидностей руды.

В современных условиях совершенствование и интенсификация любых непрерывных технологических процессов обогатительных производств не возможно без автоматического контроля, управления и регулирования. Осущес-

ствлять оптимальное управление интенсифицированными технологическими процессами крупных и сложных промышленных объектов без использования новейших методов и средств или не эффективно, или не представляется возможным. Применение методов распределенного оптимального управления взаимосвязанными процессами обогащательного производства является перспективным подходом к решению задачи обеспечения необходимых характеристик продукции обогащательного производства в условиях изменения характеристик минералого-технологических разновидностей руды.

Ключевые слова: повышение эффективности, обогащательное производство, автоматизированное управление, пространственно-временное моделирование.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В современных условиях на горно-обогащательных комбинатах осуществляется переработка нескольких технологических разновидностей руды. При этом система ведения горных работ не позволяет достаточно длительное время добывать однотипные руды, что приводит к нестабильности минерального состава сырья, поступающего на обогащение. Одним из путей снижения негативного влияния изменчивости характеристик железорудного сырья на энергопотребление технологического обогащения является повышение точности идентификации объектов управления обогащательного производства, что позволит повысить качество управления технологическим процессом.

Проблему управления взаимосвязанными процессами обогащательного производства целесообразно решать на основе методов распределенного оптимального управления на основе динамической пространственно-временной модели с оперативным измерением характеристик технологических рудопотоков ультразвуковыми и радиометрическими методами.

Анализ исследований и публикаций. Эффективность технологических процессов рудообогащательной фабрики зависит от физико-механических и химико-минералогических характеристик минералого-технологических разновидностей перерабатываемой руды, распределенных по всей протяженности технологических линий обогащения [1-4]. Однако этот факт в не учитывается в полной мере существующими системами управления в частности из-за отсутствия необходимых методов моделирования и управления такими процессами, а также из-за отсутствия способов и средств оперативного контроля характеристик руды в технологических потоках.

В работе [5] рассматривается задача оптимального управления группой взаимосвязанных динамических объектов. Исследуются случаи, когда централизованное управление группой невозможно. Описываются быстрые алгоритмы оптимального самоуправления в реальном времени каждой динамической системой с использованием информации, которой обмениваются члены группы в процессе управления. В данной работе отмечается, что управление группой динамических объектов можно осуществлять двумя способами - *централизованно и децентрализованно*. При этом, основные результаты математической теории оптимальных процессов получены для централизованного оптимального программного управления [6-8], в то время как задача оптимального позиционного централизованного управления по классическому принципу замкнутого контура остается не решенной.

Анализ исследований показал, что применение методов распределенного оптимального управления взаимосвязанными процессами обогащательного производства является перспективным подходом к решению задачи обеспечения необходимых характеристик продукции обогащательного производства в условиях изменения характеристик минералого-технологических разновидностей руды [9].

Для управления взаимосвязанными процессами обогащательного производства целесообразно использовать комбинированный подход, объединяющий методы робастного управления отдельными стадиями обогащения и методы управления системами с сосредоточенным входом и распределенным выходом.

Для поиска решения задачи нелинейной оптимизации были исследованы методы нелинейной оптимизации с ограничениями: внутренней точки, итерационного квадратичного программирования, активных множеств [10,11]. В результате проведенного анализа был выбран метод активных множеств. В частности, указанный метод показал лучшие результаты поиска оптимального решения при различных начальных условиях, в то время как другие исследуемые методы требовали дополнительных расчетов для определения начальных условий.

Цель исследований. Целью выполненных исследований является повышение энергоэффективности и содержания железа в концентрате при обогащении руд, представленных минералого-технологическими разновидностями, путем разработки принципов и подходов к распре-

деленному оптимальному управлению взаимосвязанными процессами обогащительного производства на основе динамической пространственно-временной модели.

Изложение материала и результаты. Обобщенная схема распределенной системы оптимального управления технологическими процессами обогащительного производства на основе динамической пространственно-временной модели представлена на рис. 1.

На верхнем уровне автоматизированной системы управления предприятием (АСУП) функционируют следующие системы (рис. 1): стратегического планирования производства; мониторинга стоимости, качества, работы оборудования, энергозатрат; статистической обработки и анализа технологических данных, оптимизации показателей обогащительного производства.

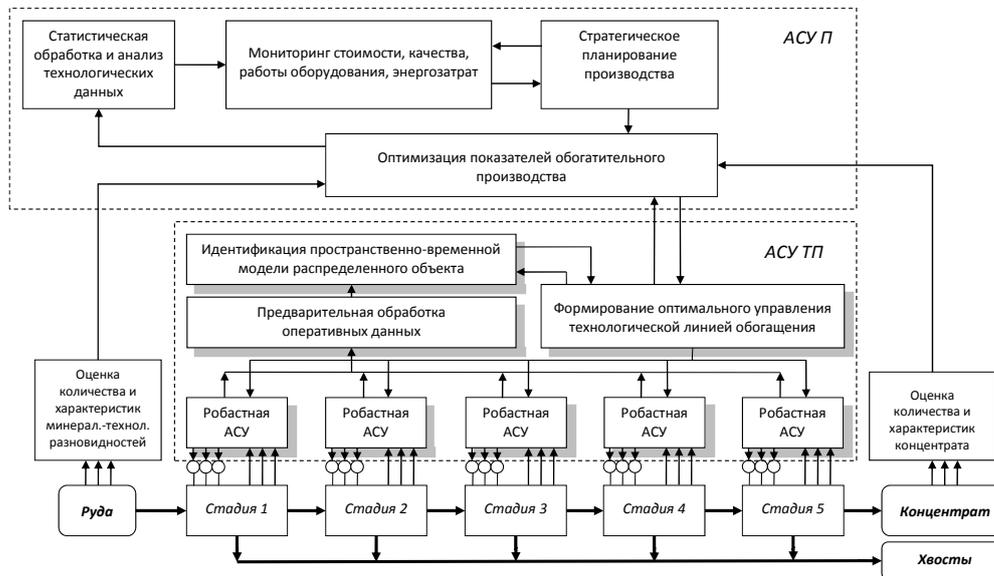


Рис. 1. Структура распределенной системы оптимального управления технологическими процессами обогащительного производства

Задачей системы стратегического планирования является оценка текущего состояния обогащительного производства и определение долгосрочного плана работы предприятия по количеству, стоимости, затратам энергии, оборудования и материалов с учетом договорных обязательств и действующих в данном периоде времени эколого-экономических ограничений.

Основной для разработки долгосрочного плана служит информация, которую предоставляет система мониторинга стоимости, качества, работы оборудования, энергозатрат. Функцией данной системы является непрерывная регистрация, хранение и анализ основных параметров технологических процессов обогащительного производства, которые определяются по результатам статистической обработки и анализа технологических данных в соответствующей системе. Система мониторинга предоставляет информацию для корректировки плана работы предприятия.

Система оптимизации показателей обогащительного производства осуществляет текущую организацию производственного процесса в соответствии с разработанным на данный период стратегическим планом и с учетом состояния технологического оборудования технологических линий и стадий обогащительного производства.

Рассчитанные данной системой производственные планы для технологических линий передаются на уровень автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) рудообогащительной фабрики.

Автоматизированная система управления технологическим процессом определенной технологической линии (нитки) рудообогащительной фабрики содержит следующие системы (см. рис. 1): предварительной обработки оперативных данных, идентификации пространственно-временной модели распределенного объекта, формирования оптимального управления технологической линией обогащения.

Оперативные данные о состоянии входов, выходов и внутренних параметров, передаваемые в реальном времени локальными автоматизированными системами управления отдельными

ми стадиями и агрегатами технологической линии обогащения руды предварительно обрабатываются соответствующей системой, что позволяет исключить резко выделяющиеся значения и различного рода шумы.

На основе полученных данных система идентификация пространственно-временной модели распределенного объекта согласно предложенным в предыдущих разделах принципам осуществляет параметризацию пространственно-временной модели характеристик железорудного сырья, распределенного по стадиям технологической линии рудообогатительной фабрики.

С использованием полученной модели соответствующая система выполняет формирование оптимального управления технологической линией обогащения путем выдачи сигналов задания локальным робастным АСУ отдельными стадиями и технологическими агрегатами.

Исходя из предложенных решений по автоматизации процесса управления процессом обогащения руды с учетом ее технологических разновидностей предлагается схема реализации системы автоматизированного управления, которая приведена на рис. 2.

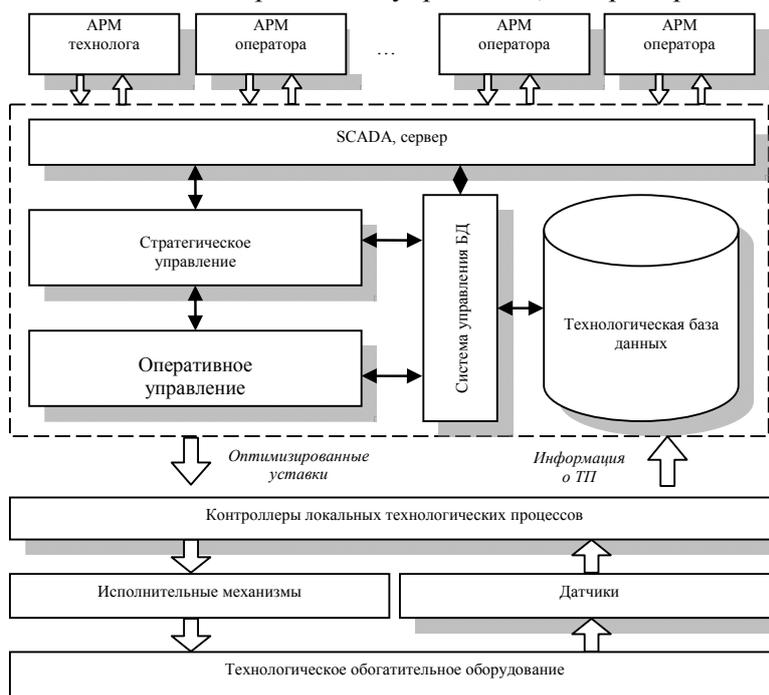


Рис. 2. Обобщенная структурная схема реализации СУ обогащением руды

Основным элементом системы автоматизированного управления является аппаратно-программное ядро.

В его состав входит ряд элементов: блок стратегического управления, блок оперативного управления, система управления технологической базой данных и собственно база данных, в которой хранятся значения входных и выходных переменных системы управления.

Визуализация динамики технологического процесса, введение и мониторинг желаемых значений управляемых

параметров (уставок), формирование отчетной документации о ходе технологического процесса обеспечиваются с помощью визуального интерфейса, который обеспечивает система SCADA «Citect» и серверная часть. Citect SCADA - программный продукт, который обеспечивает мониторинг, управление и сбора данных (SCADA - Supervisory, Control And Data Acquisition) и предназначена для управления технологическими процессами [Citect].

Значимыми для разработки системы управления процессом обогащения руды характеристиками системы «Citect» являются следующие:

количество одновременно подключенных клиентов - до 255; поддержка LAN/WAN; до 250 одновременно вошедших в систему пользователей;

поддержка устройств, работающих с RS232, 422, 485, TCP/IP интерфейсами; 4096 устройств ввода-вывода на кластер; ActiveX элемент управления DatabaseExchange для подключения СУБД;

возможность обновлять до 100 000 целых значений в секунду с устройства ввода-вывода; OPC сервер поддерживает спецификацию OPC DA 3.0; интервал дискретизации трендов - от 1 мс.

Наиболее распространенным способом реализации подобных систем является архитектура «клиент-сервер» [Citect] (рис. 3).

Клиентами в данном случае могут выступать автоматизированные рабочие места (АРМ) специалистов, а именно АРМ технолога, АРМы операторов.

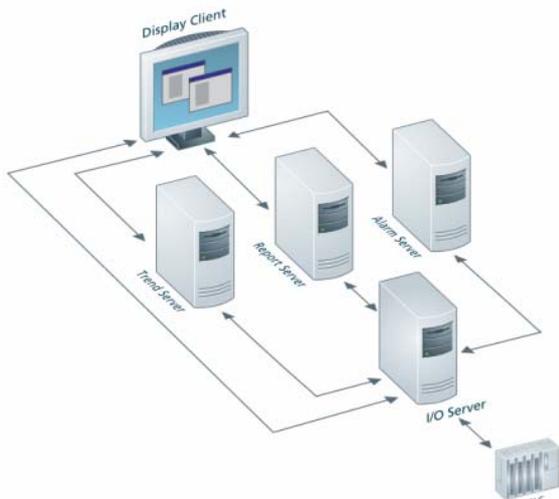


Рис. 3. Реализация архитектуры «клиент сервер» SCADA системе «Citect»

Для реализации серверной части целесообразно использовать современные разработки с повышенными требованиями к защищенности от вредных воздействий и надежности хранения информации. Обмен информацией между распределенными элементами данной системы целесообразно осуществлять с помощью промышленных сетей CAN, Interbus, Profibus, Fipio, Modbus (Plus), Unitelway, Fipway, Ethway.

Назначением блока управления является стратегическое планирование на интервале рабочей смены и оперативное формирование уставок для локальных систем автоматизированного регулирования. В нем можно выделить

подсистемы стратегического управления и оперативного управления. Блоки стратегического и оперативного управления могут быть реализованы программно на основе предложенных алгоритмов. Элементы блока управления реализуются программно. Также для актуализации информационных о ходе технологического процесса путем опроса датчиков локальных систем управления с непроизводной дискретностью и внесения текущих сведений в базу данных технологического процесса в состав блока управления введен блок синхронизации, который может быть программно реализован с использованием средств SCADA.

Назначением системы управления технологической базы данных является накопление, резервирование и хранение информации о динамике параметров технологического процесса. Для реализации была выбрана промышленная система управления базами данных (СУБД) MS SQL.

На экране системы SCADA для управления процессом классификации железорудной пульпы в гидроциклоне (рис. 4) представлены основные технологические агрегаты: гидроциклон, зумпф, насос с электроприводом; и входные и выходные технологические трубопроводы.

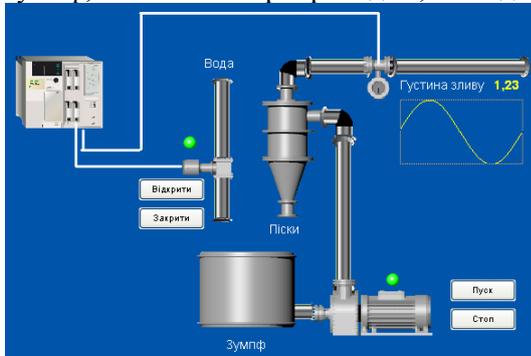


Рис. 4. Экран SCADA системы управления процессом классификации железорудной пульпы в гидроциклоне

Также, на экране изображены элементы системы управления: датчики, исполнительные механизмы, управляющее устройство - программируемый логический контроллер, регулирующий работу данного процесса в автоматическом режиме.

Кроме того, на экране системы SCADA представлены кнопки управления отдельными элементами (задвижкой и электроприводом насоса), которые позволяют оператору в случае необходимости

выполнить определенные действия вручную.

Для формирования пространственно-временных моделей нелинейных динамических объектов обогатительного производства агрегаты обогатительного производства были представлены в виде некоторых операторов, преобразующих векторы входных переменных в векторы выходных параметров.

При этом, выходные параметры текущего технологического процесса рассматривались как входные для следующего за ним в технологической линии обогащения.

Элементами векторов выходных параметров измельчительных агрегатов являются их качественные и количественные показатели.

Для моделирования нелинейных систем с распределенными параметрами предложена пространственно-временная модель Вольтерра.

Реализация модели Вольтерра выполнена в пространстве состояний с помощью сети Лагерра.

Для компьютерного моделирования процессов обогащения железорудного сырья используются возможности программного пакета Grinding Circuit Toolbox v.2001.

Схема моделирования стадии в системе агрегатов технологической линии обогащения руды представлена на рис. 5.

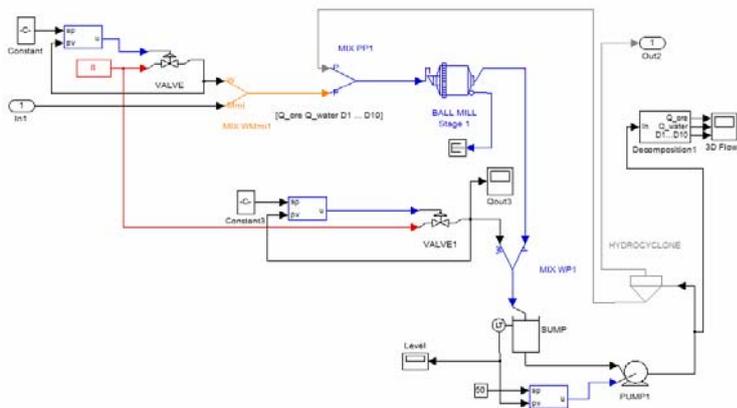


Рис. 5. Модель стадии в системе агрегатов технологической линии обогащения руды

Для получения полного горизонта прогнозирования системы второго порядка применена нелинейная оптимизация.

Пример результата прогнозирования распределенных технологических показателей процессов обогащения представлены на рис. 6.

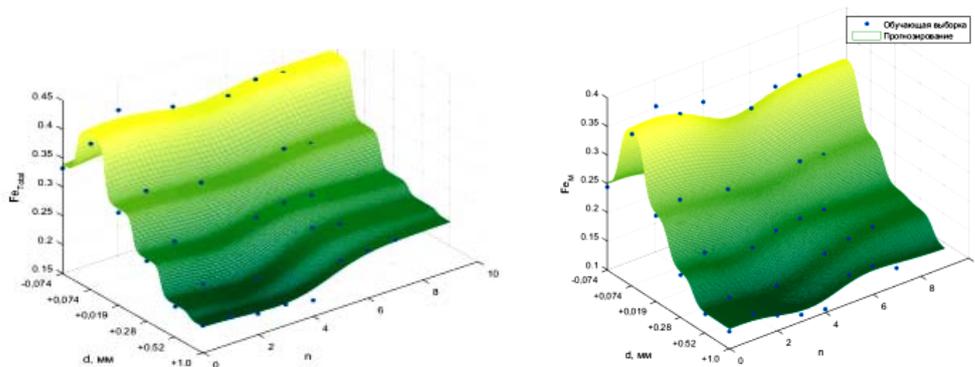


Рис. 6. Прогнозирование распределенного показателя содержания железа в классах крупности

В процессе управления технологическими процессами обогащения железорудного сырья целесообразно обеспечивать определенную крупность измельчения, зависящую от характера вкраплений полезного компонента в определенных минералого-технологических разновидностях железной руды. В процессе исследования характеристики руды отображались в трехмерном пространстве косвенных признаков: содержание железа, связанного с магнетитом Fe_M , гематитом Fe_{Gem} и сидеритом Fe_{Sid} . Трехмерное представление характеристик минералого-технологических проб руды приведено на рис. 7.

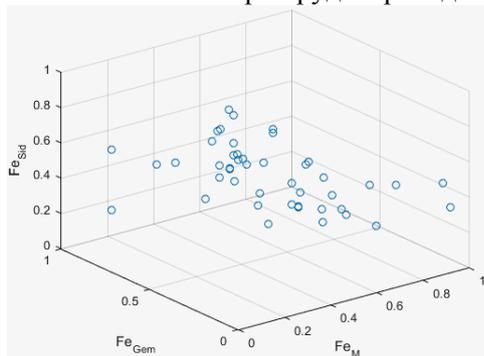


Рис. 7. Графическое представление характеристик проб железорудного сырья

В результате проведенных исследований, установлено, что для исследуемых проб руды оптимальным является распределение на 5 кластеров, для чего при использовании алгоритма Fuzzy C-means в среднем необходимо 22 итерации.

Результаты лабораторных испытаний разработанного устройства ультразвукового контроля параметров пульпы показали, что погрешность восстановления функции распределения частиц измельченного материала по размерам в среднеквадратичном отклонении составляет 0,7-0,85 %;

погрешность восстановления функции распределения содержания полезного компонента в частицах измельченного материала по размерам в среднеквадратичном отклонении составляет 0,67-0,74 %.

Статистическая обработка экспериментальных данных параметрами кривой эффективности разделения обогатительных агрегатов, обеспечивающих необходимую гранулометрическую

характеристику (функцию распределения частиц по размерам) твердой фазы пульпы подтвердили адекватность использованной модели и воспроизводимость получаемых результатов.

Выводы. Разработанная автоматизированная система распределенного оптимального управления взаимосвязанными процессами обогащительного производства осуществляет оперативный неразрушающий контроль характеристик перерабатываемого материала на основе комплекса ультразвуковых и радиометрических средств. Результаты испытаний и практической реализации системы свидетельствуют об их высокой эффективности, что позволяет рекомендовать разработанные научно-технические решения для широкого промышленного использования на горных предприятиях.

Список литературы

1. **Марюта А.Н.** Автоматическое управление технологическими процессами обогащительных фабрик / **А.Н. Марюта, Ю.Г. Качан, В.А. Бунько** // М.: Недра, 1983. – 277 с.
2. **Купін А.І.** Узгоджене інтелектуальне керування стадіями технологічного процесу збагачення магнетитових кварцитів в умовах невизначеності / **А.І. Купін**: Автореф. дис. докт. техн. наук // Кривий Ріг, 2010. – 36 с.
3. **Щокін В. П.** Адаптивне керування агломераційним комплексом на основі авторегресійних структур з регуляризцією : дис. ... докт. техн. наук: 05.13.07 / **Щокін Вадим Петрович** // Кривий Ріг, 2012. – 443 с.
4. Назаренко М. В. Оптимальне управління технологічним процесом залізорудного комбінату на основі прогнозу технологічних показників для підвищення прибутку підприємства : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.13.07 «Автоматизація процесів керування» / **М. В. Назаренко** // К., 2010. - 32 с.
5. **Габасов Р.** Оптимальное децентрализованное управление группой динамических объектов / **Р. Габасов, Н. М. Дмитрук, Ф. М. Кириллова** // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. – 2008. – том 48, номер 4. – С. 593–609.
6. **Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф.** / Математическая теория оптимальных процессов // М.: Наука, 1969.
7. **Федоренко Р.П.** Приближенное решение задач оптимального управления / М.: Наука, 1978.
8. **Сронко В.А.** Итерационные методы решения задач оптимального управления / М.: Физматлит, 2000.
9. **Hulkó, G., Mikulecký, M.**: Distributed Parameter Model of Liver Dye Excretion. Proc. 1-st Int. Symp. On Mathematical Modeling of Liver Dye Excretion, Bratislava - Smolenice, 1984.
10. **Поркуян О.В.** Керування нелінійними динамічними об'єктами збагачувальних виробництв на основі гібридних моделей Гамерштейна / **О.В. Поркуян**: Автореф. дис. докт. техн. наук // Кривий Ріг, 2009. - 36 с.
11. **Qi Chenkun.** Modelling of nonlinear distributed parameter system for industrial thermal processes. <http://lbms03.cityu.edu.hk/theses/abt/phd-meem-b23750911a>.

Рукопись поступила в редакцию 31.03.16

УДК 556.012-032.26

А. А. АЗАРЯН, д-р техн. наук, проф., В. В. БАВРОВСКИЙ, аспирант,
Криворожский национальный университет

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ОБЩЕЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ

Рассматриваются современные методы измерения общей минерализации воды. Обосновывается важность контроля общей минерализации воды грунтовых вод. Указывается справочная информация о понятии общей минерализации воды и классификации вод по уровню общей минерализации. Предлагается общая классификация методов измерения общей минерализации воды в соответствии с основными физическими свойствами растворов. Приводится справочная информация о существующих кондуктометрах с погружными электродами и их применимости в зависимости от уровня общей минерализации воды.

Проводится краткий обзор каждого из методов измерения общей минерализации воды. Выполняется анализ их актуальности, особенности применения в процессе проведения автоматизированных исследований текущего состояния гидрорежимных наблюдательных скважин в полевых условиях. Характеризуются достоинства и недостатки каждого из методов измерения общей минерализации воды и способы устранения недостатков. Указываются факторы, которые влияют на процессы измерения общей минерализации воды при использовании разных методов.

Выделяется метод измерения диэлектрической проницаемости водных растворов, развитие которого является наиболее перспективным с точки зрения измерения общей минерализации воды. Рассматривается возможность применения метода измерения диэлектрической проницаемости водных растворов для выяснения химического состава и измерения компонентного содержания растворенных минеральных солей и иных примесей.

Предлагается направление научного поиска путей дальнейшего совершенствования методов измерения общей минерализации воды и их практического применения при исследовании текущего состояния гидрорежимных наблюдательных скважин в полевых условиях, а именно - использование комбинации кондуктометрического метода и резонансного метода измерения диэлектрической проницаемости воды.