

УДК 681.51:622.7

Купин А.И.

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

Музыка И.О.

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

Сенько А.А.

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

Коваленко К.А.

ОАО «Южный горно-обогатительный комбинат»

Мисько Б.С.

ГП «Криворожский институт автоматики»

ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРА ПРОГНОЗИРУЮЩЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РУДОПОДГОТОВКОЙ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

В данной статье показана актуальность автоматизации технологических процессов обогащения и рудоподготовки. Системно проанализирован технологический процесс транспортировки руды в условиях горно-обогатительного комбината. Поставлена задача построения прогнозирующей автоматизированной системы управления рудоподготовкой для стабилизации качественных показателей горно-обогатительного комбината. Представлена обобщенная структурная схема прогнозирующей системы. Разработан алгоритм функционирования такой автоматизированной системы управления.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, прогнозирование, технология обогащения, рудоподготовка.

Постановка проблемы. В условиях мировой рыночной экономики повышение конкурентоспособности отечественного горно-металлургического комплекса можно достичь за счет стабилизации качества выпускаемой продукции. В качестве составной части процесса улучшения качества можно рассматривать процесс стабилизации качественных показателей рудного сырья на горнодобывающих предприятиях в процессе рудоподготовки [1].

Выпуск продукции строго заданного качества при условии высоких флуктуаций качественных характеристик входного сырья приводит к необходимости оперативного принятия нетривиальных решений инженерно-техническим персоналом, задержка с которыми, в свою очередь, негативно влияет на эффективность производства и, как

следствие, рентабельность продукции. В случае с горнорудными предприятиями, чем больше амплитуда отклонения качества руды от предусмотренного при настройке процесса и чем продолжительнее это отклонение (без коррекции процесса), тем большие потери при извлечении. Они зависят от особенностей инженерно-конструктивных решений фабрик, частотного спектра колебаний и динамических характеристик процесса и систем управления и в сумме могут быть эквивалентны потерям 15–20% производительности [2]. Невозможность прямого оперативного контроля физико-химических показателей сырья при первичной подготовке руды для обогащения (стадии транспортировки и дробления), а также высокая вероятность резких амплитудных колебаний качественных характеристик руды при шихтовании

приводят к поиску косвенных решений оперативного контроля и стабилизации амплитудных колебаний качественных характеристик. Таким косвенным решением может быть использование экспертной автоматизированной системы прогнозирования физико-химических показателей сырья.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросом прогнозирования качественных характеристик рудного сырья в разное время занимались: А.А. Азарян, Ю.П. Астафьев, Н.Д. Бевз, В.Н. Беспалько, В.Ф. Бызов, А.С. Давидкович, Л.П. Шупов и другие [3–5]. Основными недостатками систем прогнозирования или контроля качества в прошлом были: низкая вычислительная мощность компьютеров, высокие затраты по созданию данных систем, связанные с высокой стоимостью электронно-вычислительных машин, малые возможности хранения больших объемов статистических данных и их оперативного использования по сравнению с современными вычислительными системами. Сегодня развитие информационной техники позволяет решать проблемы прогнозирования на качественно новом уровне.

Автоматизированная система прогнозирования состава рудного сырья призвана обеспечить достоверный прогноз свойств руды, загружаемой в мельницы первой стадии измельчения после полного процесса рудоподготовки: добычи, транспортировки, дробления.

Анализ текущего состояния автоматизации процесса прогнозирования показателей качества на отечественных горно-обогатительных комбинатах (далее – ГОК) показал, что наряду с достаточно хорошо теоретически описанными системами прогнозирования и большим количеством практических наработок, полноценные промышленные системы прогнозирования качества практически отсутствуют. А существующие системы, как правило, устарели [6].

Постановка задания. С целью построения современной прогнозирующей автоматизированной системы управления (далее – АСУ) рассмотрим технологический процесс рудоподготовки на примере Открытого акционерного общества «Южный ГОК».

Изложение основного материала исследования. Технологический процесс вышеуказанного предприятия включает в себя следующие этапы: добычу руды открытым способом, транспортировку руды и четыре стадии дробления руды по двум параллельным веткам с промежуточным гро-

хочением перед мелким дроблением. Руда (кварциты неокисленные: магнетиты, гематит-магнетиты, силикат-карбонат-магнетиты и их частично окисленные разновидности), поставляемая на рудообогатительную фабрику, должна соответствовать критериям качества по железу общему, в процентном средневзвешенном выражении не менее 35%, и железу магнитному, в процентном средневзвешенном выражении не менее 27,3%.

Добыча руды для промышленного обогащения ведется с горизонтов, соответствующих критериям качества сырья от 30% по железу общему и от 23% по железу магнитному, которые получены лабораторным методом геолого-разведывательной службой. Также в ходе лабораторного исследования указываются твердость руды по шкале профессора М.М. Протодюконова [3] и процент окисленного железа. Крупность при подаче руды на дробильную фабрику не должна быть более 800 мм.

Транспортировка руды осуществляется тяговыми агрегатами, электровозами или автотранспортным парком, партиями от 40 до 945 тонн. Время движения транспорта, а также объем перевозимой руды от места погрузки, экскаватора или станции, до места выгрузки, одной из трех конусных дробильных установок крупного дробления, регламентируется нормативными документами управления железнодорожным транспортом и может быть точно установлено с помощью диспетчерской системы учета исполненного движения.

Схема дробления руды включает 4 стадии дробления. Первая стадия первой ветки дробления осуществляется конусной дробилкой производительностью 3 250 тонн/час (далее – т/ч). Вторая стадия – двумя конусными дробилками производительностью по 1 650 т/ч. Третья и четвертая – восемью конусными дробилками производительностью по 365 т/ч и 265 т/ч соответственно. Перед четвертой стадией дробления производится предварительное грохочение инерционными грохотами с отбором подрешеточного продукта на сборочный конвейер. Первая стадия второй ветки дробления осуществляется двумя конусными дробилками 1 600 и 2 250 т/ч. Вторая стадия – двумя конусными дробилками производительностью по 1 650 т/ч. Третья и четвертая стадии дробления – пятью конусными дробилками производительностью 365 и 245 т/ч соответственно, а также по одной дробилке, на каждую стадию, производительностью 1 190 т/ч. После второй стадии организованы промежуточные накопительные банки руды 12 000 т и 14 000 т соответственно

веткам дроблення. Между всеми стадиями дробления руда транспортируется конвейерами или прямым рудоспуском. При построении алгоритма автоматизированной системы прогнозирования необходимо учитывать и реалии отечественного горнодобывающего комплекса. А именно изношенность определенного оборудования и, как следствие, уменьшение коэффициента эффективности использования оборудования, периодическое использование оборудования не на полную расчетную мощность и прочее.

Полный технологический процесс добычи, транспортировки и дробления схематически изображен на рис 1.

Исходя из описанного технологического процесса, общую структурную схему автоматизированной системы прогнозирования можно разделить на несколько блоков (см. рис. 2).

Первый – исходная информация о качественных показателях руды, разрабатываемых горизонтов, исходя из лабораторных анализов геолого-разведывательной службы. Второй – информация по транспортируемым объемам сырья с заданными характеристиками и времени транспортировки. Третий – аналитическая обработка информации о простоях основного оборудования и пути прохождения сырья по узлам и агрегатам дробильно-

транспортного комплекса. Четвертый – блок определения процента руды, отсеиваемого на грохотах. Пятый – центральный модуль, модуль прогнозирования.



Рис. 2. Общая структурная схема прогнозирующей АСУ

Для возможности построения моделей первого блока, в общем случае, необходимо установить: зависимости распределения и количества экскаваторов (k), работающих на добыче пригодного для обогащения сырья; содержание показателей качественных характеристик руды ($\alpha_{ij}, \%$) в добываемых объемах руды $V_i (m^3)$; плановые ($Q_{pl}(\Delta t)$, т/ч) и фактические $Q_j(\Delta t)$, т/ч показатели производительности карьера по j -му показателю качества. Построение блока сводится к

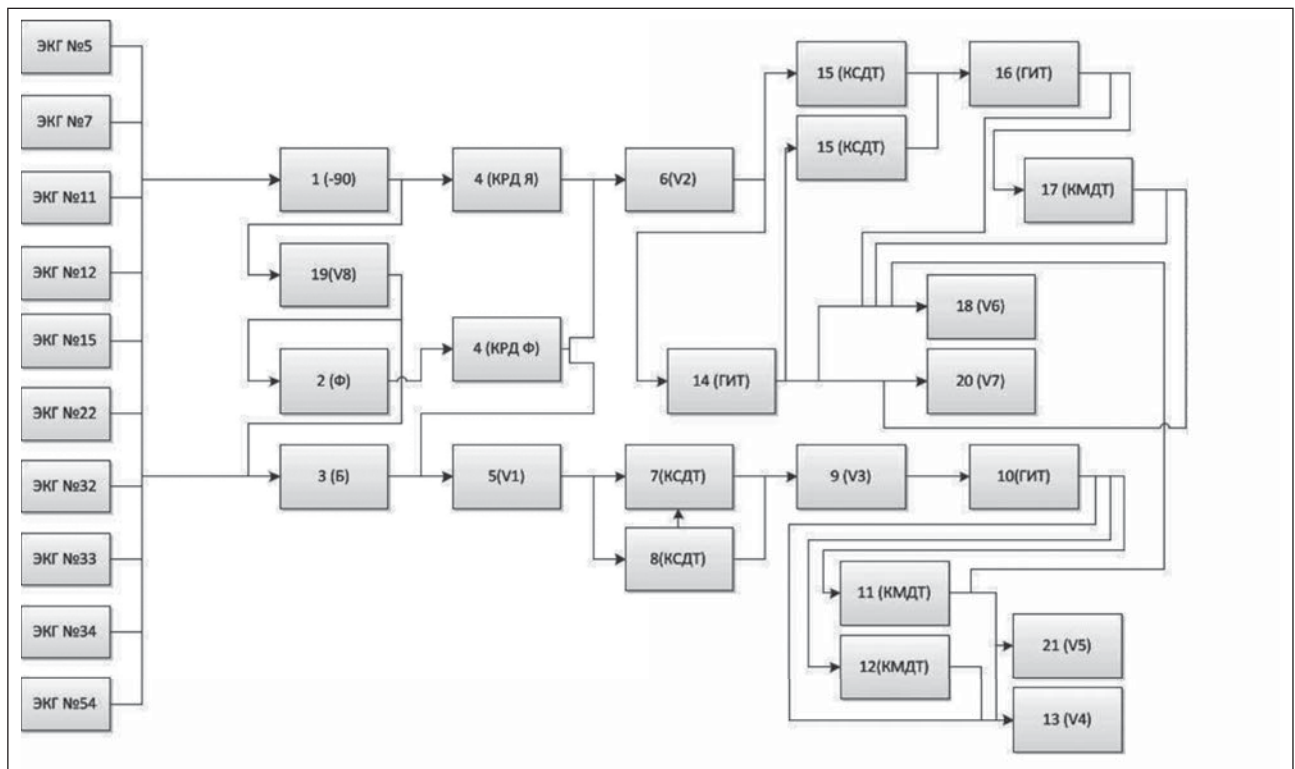


Рис. 1. Технологический процесс транспортировки руды

организации автоматизированных рабочих мест (далее – АРМ) инженеров геолого-разведывательной службы для возможности ввода качественных показателей руды по разрабатываемым горизонтам, АРМов диспетчеров карьера и диспетчеров транспортной службы. Плановые и фактические показатели производительности необходимы для

промежуточного расчета качественных показателей и возможности их предварительной корреляции методом усреднения руд, а именно выделения (уменьшения или увеличения) партии руды, извлекаемой k -м экскаватором за промежуток времени (Δt , ч). Также на этом этапе необходимо установить допустимое значение среднеквадрата-

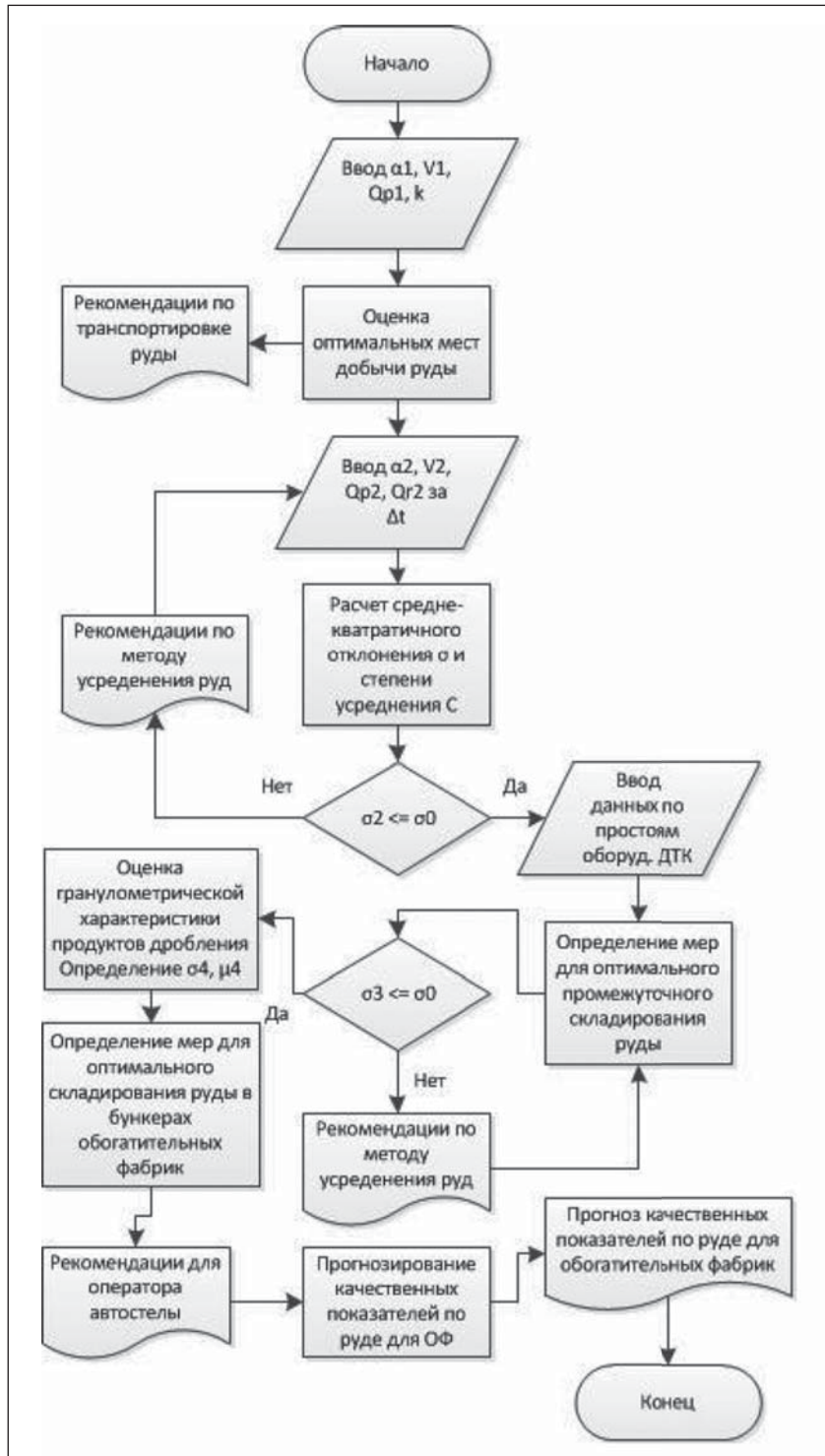


Рис. 3. Функциональная блок-схема прогнозирующей АСУ

тичного отклонения содержания компонента в потоке руды σ_j , %), при этом необходимо учесть статистическую надежность в определении данного показателя [3].

Построение второго блока требует наличия системы контроля перемещения и загрузки подвижного состава и сводится к развертыванию программно-аппаратных средств сбора соответствующей информации. Такая система контроля может быть построена на основе систем GPS-навигации, в случае использования горного автотранспорта, или датчиков движения железнодорожного транспорта. Также необходима информация о содержании показателей качественных характеристик руды α_{2j} (,) в транспортируемых объемах руды V_2 (,3) за промежуток времени (Δt , t , ч); плановые $Q_{pl}(\Delta t)$, т/ч) и фактические $Q_f(\Delta t)$, т/ч) показатели производительности структурного подразделения, ответственного за транспортировку рудного сырья к местам дробления; степень усреднения (C , %) качественных показателей в точках перегрузки и количество данных точек перегрузки (O_n).

Полная блок-схема реализации прогнозирующей АСУ представлена на рисунке 3.

Построение третьего блока сопряжено с построением системы контроля и учета рабочего времени оборудования (системы автоматизированного учета простоев оборудования) и установлением зависимости распределения руды по потокам. Как и в первом блоке, необходимо определить: степень усреднения (C_n , %) качественных показателей в накопительных банках; количество (O_n) объем (V_n , m^3) накопительных банок; время перемещения (Δ , $tч$) детерминированных объемов руды (V , m^3) и содержание качественных характеристик в них (α_{3j} , %); плановые ($Q_{pl}(\Delta t)$, т/ч) и фактические $Q_f(\Delta t)$, т/ч) показатели производительности установок дробления и транспортировки (конвейеров).

Четвертый блок основывается на математическом аппарате теории вероятности. В данном блоке необходимо оценить гранулометрическую характеристику продуктов дробления и грохочения (процентные величины надрешетного и подрешетного продукта грохочения). Для возможности оценки необходимо определить параметры распределения: математическое ожидание (μ_{4j}) среднее квадратичное отклонение (σ_{4j}) соответствующих величин.

Центральный, пятый блок представляет собой консолидирующий программный модуль. Данный блок непосредственно является модулем прогнозирования. В качестве альтернатив методов прогнозирования рассматривались: нейрокибернетические, регрессионные, сплайн, синергетические подходы. Например, в [7] показаны несколько примеров успешной реализации предложенного подхода в условиях Южного ГОКа и комбината ПАТ «Арселор Миттал Кривой Рог» на основе нейроуправления и Fuzzy Logic.

Выводы. Предложенная обобщенная структура прогнозирующей АСУ позволит решить проблему прогнозирования качественных показателей сырья, учитывая современные тенденции развития информационных технологий, что позволит стабилизировать качество выпускаемой продукции и приведет к повышению эффективности производства. Но данная система требует комплексного подхода и автоматизации всех этапов рудоподготовки, включая системы первичного ввода и хранения информации, системы контроля движения (навигации), датчиков работы (простоя) отдельных узлов оборудования и т. д. Более детальная разработка каждого из рассмотренных блоков прогнозирующей АСУ с учетом специфики сырьевой базы и технологии других ГОКов Кривбасса является целью дальнейших исследований и будет рассмотрена в последующих работах.

Список литературы:

1. Азарян А.А., Вилкул Ю.Г., Колосов В.А., Караманиц Ф.И. Динамика качества и объемов добычи железорудного сырья в Украине 2003–2013 гг. Качество минерального сырья: сборник научных трудов. Кривой Рог, 2014. С. 8–19.
2. Бызов В.Ф. Усреднительные системы на горно-обогатительных предприятиях. Москва, 1988. 213 с.
3. Справочник по обогащению руд / под ред. О.С. Богданова. Москва, 1983. 385 с.
4. Антонов В.В. Прогнозирование показателей однородности качества руды с использованием имитационного моделирования. Электротехнические комплексы и системы управления. 2010. № 3. С. 14–18.
5. Марюта А.Н., Давидкович А.С., Гуленко Т.И., Кондратенец В.А. Автоматизация процессов обогащения руд. Киев, 1972. 140 с.
6. Купін А.І., Музика І.О. Комп'ютерна підтримка прийняття рішень для автоматизованого керування буровиховими роботами з мінімізацією енерговитрат. Кривий Ріг, 2013. 200 с.
7. Купін А.І., Сенько А.О., Мисько Б.С. Ідентифікація та автоматизоване керування в умовах процесів збагачувальної технології на основі методів обчислювального інтелекту. Кривий Ріг, 2018. 298 с.

**УЗАГАЛЬНЕНА СТРУКТУРА ПРОГНОЗУЮЧОЇ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ
КЕРУВАННЯ РУДОПІДГОТОВКОЮ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ
ГІРНИЧОЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ**

У статті показана актуальність автоматизації технологічних процесів збагачення та рудопідготовки. Системно проаналізовано технологічний процес транспортування руди в умовах гірничозбагачувального комбінату. Поставлено завдання побудови прогнозуючої автоматизованої системи керування рудопідготовкою для стабілізації якісних показників гірничозбагачувального комбінату. Представлена узагальнена структурна схема прогнозуючої системи. Розроблений алгоритм функціонування такої автоматизованої системи керування.

Ключові слова: автоматизована система керування, прогнозування, технологія збагачення, рудопідготовка.

**THE GENERALIZED STRUCTURE OF THE PREDICTING AUTOMATIC CONTROL SYSTEM
ORE BENEFICATION FOR STABILIZATION OF MINING COMPLEX QUALITY INDICATORS**

In this paper the urgency of automation of processes of concentration and ore benefication is shown. It is system the process of transportation of ore in conditions is analysed is mining a complex. The statement of problem of construction of the predicting automated control system (ACS) by ore benefication for stabilisation of quality indicators of a mining complex is carried out. The generalised block scheme of predicting system is presented. The algorithm of functioning of such automatic control system is developed.

Key words: automated control system, forecasting, concentrating production engineering, ore benefication.