

УДК 622.647.2

Маринич И. А., канд. техн. наук (Тел.: +380 (67) 974 24 84. E-mail : marinich1976@mail.ua)

Ефименко Л. И., канд. техн. наук

Тиханский М. П., канд. техн. наук

(Криворожский национальный университет)

РЕАЛИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДРОБИЛЬНО-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ SCHNEIDER ELECTRIC

Маринич И. А., Ефименко Л. И., Тиханский М. П. реалізація розподіленої системи автоматичного керування дробарно-подрібнювальним комплексом на базі промислових контролерів Schneider Electric. Розглядається побудова системи автоматичного керування із застосуванням розподілених регуляторів та узгодженого адаптивного керування дробильно-подрібнювальним комплексом гірничо-збагачувального комбінату на базі промислових контролерів Schneider Electric. Подання дробильно-подрібнювального комплексу гірничо-збагачувального комбінату у вигляді структури з розподіленими параметрами функції скорочення крупності руди дозволяє мінімізувати питомі витрати на процеси дроблення-подрібнення і домогтися максимальної продуктивності технологічної лінії і зниження навантажень на кінцеву стадію – подрібнення, що, в свою чергу, сприяє загальному зниженню енергоспоживання.

Ключові слова: адаптивне керування; дробильно-подрібнювальний комплекс; промисловий контролер; розподілений регулятор; функція скорочення крупності руди

Маринич И. А., Ефименко Л. И., Тиханский М. П. Реализация распределенной системы автоматического управления дробильно-измельчительным комплексом на базе промышленных контроллеров Schneider Electric. Рассматривается построение системы автоматического управления с применением распределенных регуляторов и согласованного адаптивного управления дробильно-измельчительным комплексом горно-обогатительного комбината на базе промышленных контроллеров SCHNEIDER ELECTRIC. Представление дробильно-измельчительного комплекса горно-обогатительного комбината в виде структуры с распределенными параметрами функции сокращения крупности руды позволяет минимизировать удельные затраты на процессы дробления-измельчения и добиться максимальной производительности технологической линии и снижения нагрузок на конечную стадию – измельчение, что, в свою очередь, способствует общему снижению энергопотребления.

Ключевые слова: адаптивное управление; дробильно-измельчительный комплекс; промышленный контроллер; распределенный регулятор; функция сокращения крупности руды

Marynych I. A., Yefimenko L. I., Tykhanskyu M. P. Implementation of distributed automatic control system crushing and grinding complex on the basis of industrial controller “Schneider Electric”. The paper considers the formation of the automatic control system using distributed controllers and coherent adaptive control of a crushing and grinding complex at the mining and processing plant based on the industrial controllers. Presentation of crushing and grinding complex of the mining and processing enterprise in the form of the structure with distributed parameters of ore size reduction function allows to minimize unit costs for crushing and grinding, achieve maximum performance of the production line, and reduce load at the terminal stage – reduction, that, in its turn, contributes to general decrease of power consumption.

Key words: adaptive control; crushing and grinding complex; industrial controllers; distributed control; function of ore size reduction

Актуальность проблемы. Одним из важнейших вопросов при автоматизации процесса рудоподготовки является оптимизация управления процессом дробления, обеспечивающая требуемое значение выходных параметров руды (крупности) при минимальных затратах на производство. Таким образом, процесс рудоподготовки можно считать приближенно некоторым случайным процессом преобразования крупности исходного материала в крупность требуемого фракционного состава продукта дробления. Другими словами, если на вход в дробилку поступает исходный материал с некоторой, определённой заранее плотностью распределения крупности, то в дробилке происходит преобразование её в плотность распределения крупности продукта дробления, среднее значение которого должно соответствовать требуемому значению крупности [1]. Решению вышеизложенной проблемы и посвящено наше научное исследование.

Цель статьи – построение системы автоматического управления с применением распределенных регуляторов и согласованного адаптивного управления дробильно-

измельчительным комплексом горно-обогатительного комбината на базе промышленных контроллеров Schneider Electric.

Изложение основного материала. На Рис.1 приведена функциональная блок-схема системы автоматического управления процессом рудоподготовки на дробильно-измельчительном комплексе[2].

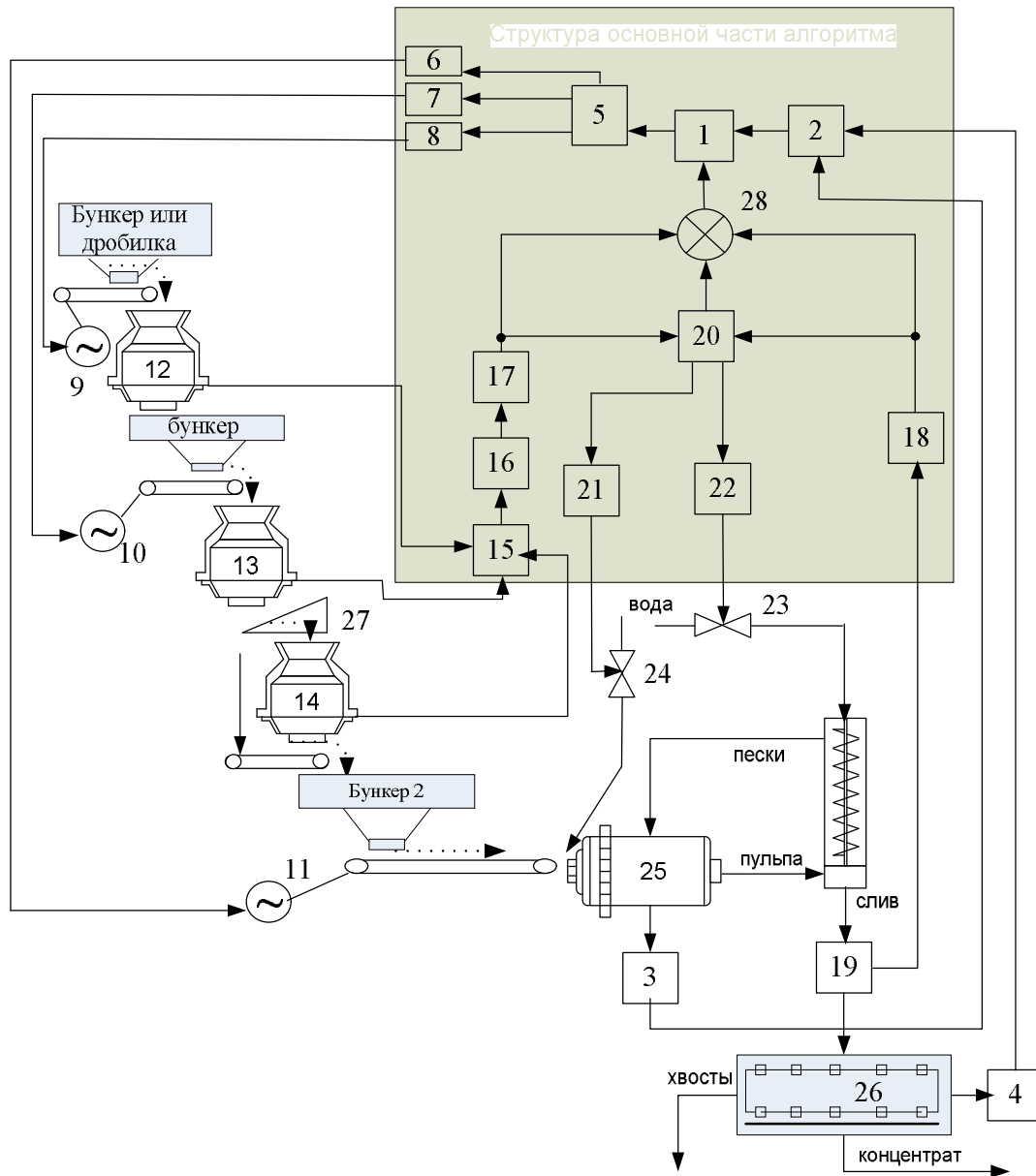


Рис. 1. Блок-схема САУ одной очереди дробильной фабрики и секции фабрики обогащения по каналу удельных затрат электроэнергии

На рисунке приняты следующие обозначения: 1 – распределенный регулятор, 2 – блок вычисления соотношения параметров потребляемой активной мощности, 3, 4 – датчики активной мощности приводных двигателей шаровой мельницы и магнитного сепаратора соответственно, 5 – блок согласованного адаптивного управления регуляторами производительности по руде, 6, 7, 8 – регуляторы производительности по руде соответствующих стадий, 9, 10, 11 – питатели соответствующих стадий, 12, 13, 14 – соответствующие стадии дробления, 15 – подсистема сбора информации от технологических датчиков, 16 – блок преобразования и нормирования, 17, 18 – блоки вычисления параметров функции распределения руды по крупности, 19 – датчик содержания класса 74 мкм в сливе классифицирующего аппарата, 20 – блок вычисления соотношений гранулометрических характеристик, 21, 22 – регуляторы управляющие положением клапанов, 23, 24

– клапаны расхода воды в классифицирующий аппарат первой стадии измельчения и шаровую мельницу этой же стадии, 25 – первая стадия измельчения, 26 – магнитный сепаратор, 27 – грохоты, 28 – сумматор.

Система автоматического управления работает следующим образом [1; 2; 3].

Информация о состоянии технологического процесса, поступает из-под системы 15 сбора информации от датчиков производительности и уровня заполнения в первой 12, второй 13 и третьей 14 стадиях дробления проходит первичную обработку и преобразование в удобную для дальнейших операций форму в блоке 16 преобразования и нормирования, после чего попадает в первый блок 17 вычислений параметров функции распределения по крупности перерабатываемого сырья. Так как для эффективного управления целесообразно рассматривать дробильно-измельчительные комплексы как единое целое, поэтому устройство содержит второй блок 18 вычислений параметров функции распределения руды по крупности первой стадии измельчения на вход которого поступает информация от датчика 19 содержания класса 74 мкм в сливе классифицирующего аппарата, а выход соединен с блоком 20 вычислений соотношения гранулометрических характеристик, к которому присоединен первый блок 17 вычислений параметров функции распределения руды по крупности всех стадий дробления.

Используя данные блоков вычислений 17 и 18 в блоке 20 вычисления соотношения гранулометрических характеристик, происходит вычисление оптимальной управляющей характеристики подключенных к его выходу регуляторов 21, 22 управляющих положением клапана подачи воды 23, 24 в классифицирующий аппарат и шаровую мельницу первой стадии измельчения 25, которые в дальнейшем поддерживает рассчитанное соотношение. Выход блока 20 также соединен с сумматором 28, к которому присоединены выходы блоков 17, 18 вычислений параметров функции распределения руды по крупности всех стадий дробления и измельчения соответственно. Выход сумматора 28 подключен к распределенной регулятору 1, выполняющему согласованное управление распределенным процессом.

Коррекция параметров распределенного регулятора 1 осуществляется вторым блоком 2 вычисления соотношения параметров потребляемой активной мощности 3 потребляемой приводным двигателем шаровой мельницы и датчика активной мощности 4 потребляемой приводным двигателем магнитного сепаратора 26, который выступает как естественный индикатор качества ведения технологического процесса. Причем, максимальное значение активной мощности, потребляемой приводным электродвигателем магнитного сепаратора, соответствует максимальной производительности комплекса с извлеченного магнитного железа и определяется оптимальными значениями степени заполнения мельницы рудой, шарами, плотности пульпы в мельнице, плотности слива классифицирующего аппарата. Выход распределенного регулятора 1 подключен к блоку 5 управления регуляторами производительности по руде, который с помощью интегрального критерия формирует согласованное управление многостадийным процессом сокращения крупности руды дробильно-измельчительными комплексами, учитывающий скорость формирования определенных фракций крупности руды, производительность и удельные затраты на производство единицы исходного продукта каждой стадии.

Управляющие сигналы блока 5 поступают на регуляторы 6, 7, 8 производительности по руде соответствующих стадий, которые управляют скоростью питателей 9, 10 и 11, меняя производительность технологической линии рудоподготовки таким образом, чтобы обеспечить, с минимальными энергозатратами, формирование и поддержание оптимальной производительности и гранулометрического состава исходных продуктов взаимосвязанных дробильных и измельчительных агрегатов.

На Рис. 2 приведена функциональная схема АСУ процессом рудоподготовки с выбранным оборудованием Schneider Electric, которая соответствует функциональной блок-схеме САУ представленной на Рис. 1.

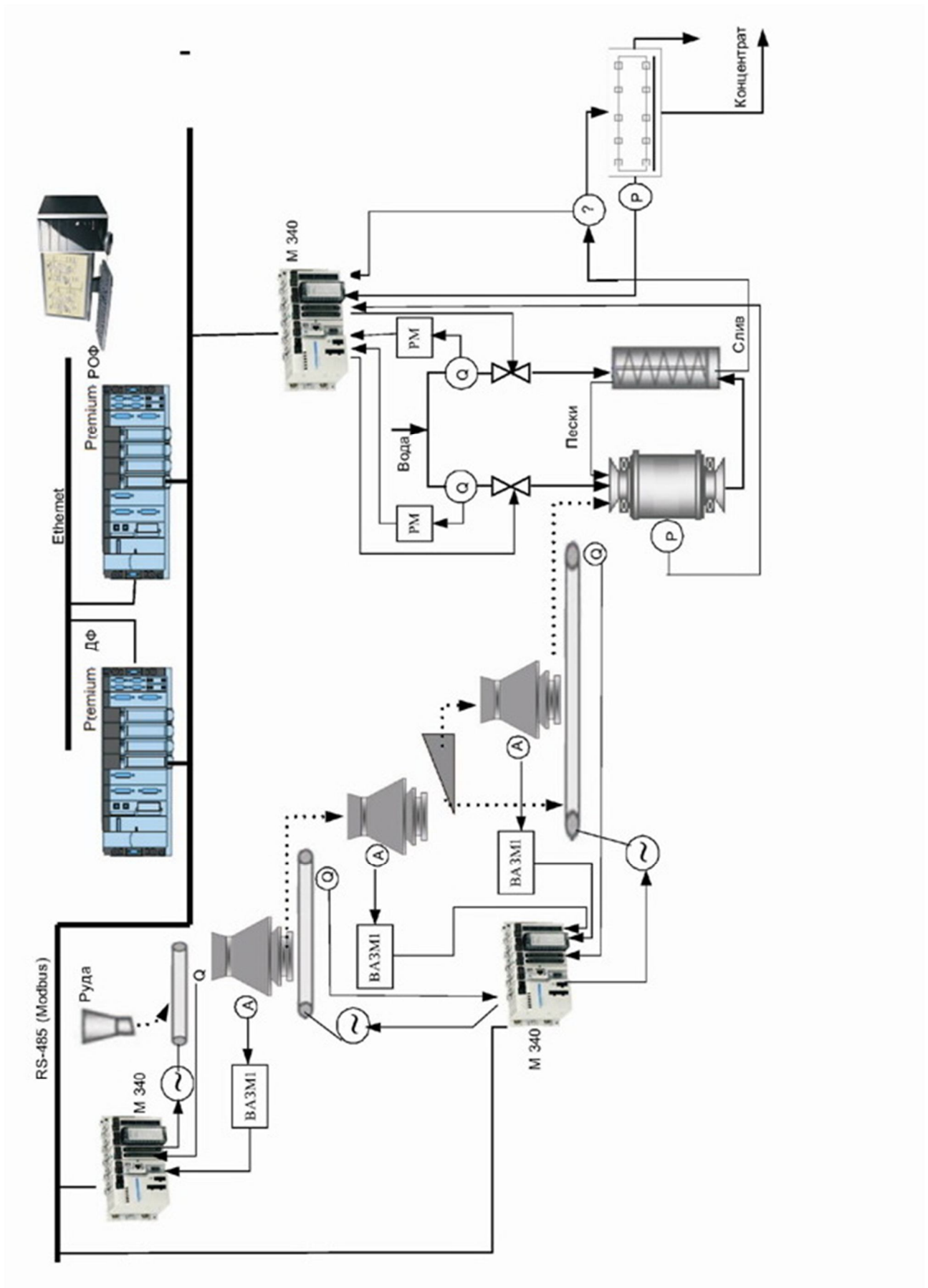


Рис. 2. Схема аппаратной реализации САУ процессом рудоподготовки по каналу удельных затрат электроэнергии

Так, функции регуляторов 6, 7, 8 производительности по руде соответствующих стадий, которые управляют скоростью питателей 9, 10 и 11, выполняются контроллерами М-340, которые являются полноценными ПЛК с ЦПУ, ОЗУ и флэш-памятью. Они основаны на популярной серии ПЛК Modicon (т.е. непосредственно совместимы с ПЛК Quantum, Premium). Регуляторы формируются на основе базовых модулей аналогового ввода-вывода М-340 [4]. Они меняют производительность питателей таким образом, чтобы обеспечить оптимальную загрузку дробилок каждой стадии дробления и измельчения. При этом ставится задача, чтобы, при том же заданном гранулометрическом составе, минимизировались суммарные энергозатраты, взаимосвязанных дробильных и измельчительных агрегатов.

На контроллеры М-340 также поступают сигналы технологических датчиков: производительности соответствующих питателей и сигналы комплексов «ВАЗМ-1» [5] обеспечивающие высокую достоверность контроля загрузки измельчительных агрегатов сырьем. При оснащении дополнительными датчиками, контролирующими грансостав, плотность пульпы, активную мощность мельницы (классифицирующего агрегата), а также исполнительными механизмами комплекс «ВАЗМ-1» является ядром локальной системы автоматизированного управления соответствующими стадиями. Прибор оснащается двумя и более аналоговыми выходами для передачи информации об объемном заполнении мельницы и датчиком активной мощности привода мельницы, который вместе с сигналом от датчика активной мощности привода магнитного сепаратора поступает на управляющую панель Magelis, которая используется для корректировки ПЛК Premium [4] (модули которого реализуют блок 1 распределенного регулятора и блок 2 вычисления соотношения параметров потребляемой активной мощности).

Роль блоков 17,18 вычислений функции распределения руды по крупности использующие уравнение гранулометрического состава, удовлетворяющее любым граничным размерам фракций [6]:

$$R[> d] = \frac{e^{-A(d-d_{\min})^\alpha} - e^{-A(d_{\max}-d_{\min})^\alpha}}{1 - e^{-A(d_{\max}-d_{\min})^\alpha}} .$$

При $d_{\min}=0$ и $d_{\max} \rightarrow \infty$ это уравнение переходит в обычное уравнение гранулометрического состава Розина-Раммлера:

$$R[> d] = e^{-Ad^\alpha} .$$

и блока 20 вычисления соотношения гранулометрических характеристик, также возложены на контроллеры М 340 и подключаются с помощью базовым блоком ввода-вывода к регуляторам 21, 22 управляющих положением регулируемого клапана КСР-Э подачи воды 23, 24 в классифицирующий аппарат и шаровую мельницу первой стадии измельчения, который в дальнейшем поддерживает рассчитанное соотношение. Измерение расхода жидкости с помощью расходомера 906-Э основано на преобразовании усилия, возникающего на диске, расположенном перпендикулярно потоку жидкости в трубопроводе, в стандартные пневматические или электрические сигналы.

Соотношение руда-вода определяется по [7]:

$$K_{P-B} = \frac{A(Q_n - Q_{ВЖ}) + Q_{PM}}{Q_{BMM} + Q_{ВМЖ} + K \cdot A \cdot (Q_n - Q_{ВЖ})} ,$$

где K – постоянная, характеризующая содержание влаги в песках классификатора;

A – постоянная, зависящая от плотности твердого, воды и содержания влаги в песках классификатора $A = \delta m / (1 + K \cdot \frac{\delta m}{\delta v})$;

$Q_{п}$ и $Q_{вж}$ – соответственно объемный расход пульпы и воды в песчаный желоб;

$Q_{рм}$, $Q_{вмм}$, $Q_{вжм}$ – соответственно массовый расход руды, воды в мельницу и воды в песчаный желоб классификатора.

В качестве датчика 19 можно использовать гранулометр «ПИК-074П» [8], который предназначен для непрерывного автоматического контроля гранулометрического состава пульпообразных и сухих продуктов процессов измельчения и классификации и выдачу стандартного сигнала на регулирующие устройства и передачу данных по каналам связи.

Массовые доли железа в хвостах β_x и концентрате β_k измеряются с помощью датчиков магнитной индукции сигналы которых вместе с сигналами от датчиков активной мощности приводов шаровой мельницы и магнитного сепаратора поступают на панель Magelis, в которой рассчитывается коэффициент корреляции $R_{\beta_k \beta_x}$. Сигнал, пропорциональный этому коэффициенту является критерием оптимизации помола руды и поступает в ПЛК с алгоритмом работы [9]:

$$\gamma_0 = \begin{cases} \gamma_1 + \Delta, & \text{якщо } R_{\beta_k \beta_x} < 0 \\ \gamma_1 - \Delta, & \text{якщо } R_{\beta_k \beta_x} > 0 \\ \gamma_1, & \text{якщо } R_{\beta_k \beta_x} = 0 \end{cases}$$

При плохом измельчении руды в питании магнитного сепаратора много поленого минерала и пустой породы попадает как в концентрат так и в хвосты, что приводит к позитивному значению коэффициента корреляции между массовыми долями железа в концентрате и хвостах, т.е. $R_{\beta_k \beta_x} > 0$.

При оптимальной степени измельчения зерна поленого минерала попадают в концентрат, а пустая порода в хвосты. Тогда коэффициент корреляции $R_{\beta_k \beta_x} \rightarrow 0$.

При сильном измельчении руды нарушаются обогатительные характеристики магнитного сепаратора и при избытке мелкого класса сепаратор начинает работать как простой пульпоразделитель. В этом случае, если массовая доля железа в концентрате увеличивается, то в хвостах она уменьшается, и наоборот, что соответствует отрицательному значению коэффициента корреляции $R_{\beta_k \beta_x} < 0$.

За счет того, что система снабжена распределенным регулятором, который осуществляет адаптивное управление дробильно-измельчительным комплексом горно-обогатительного комбината на базе модели с распределенными параметрами функции сокращения крупности руды, обеспечивает с минимальными энергозатратами формирование и поддержание оптимальной производительности и гранулометрического состава исходных продуктов взаимосвязанных дробильных и измельчительных агрегатов в условиях неполной информации о характеристиках объекта управления, что существенно меняются во времени и блоком управления регуляторами производительности по руде, который с помощью интегрального критерия формирует согласованное управление многостадийным процессом сокращения крупности руды дробильно-измельчительным комплексом, учитывающий скорость формирования определенных фракций крупности руды, производительность и удельные затраты на производство единицы исходного продукта каждой стадии [10].

Выводы. Технический результат от использования данной системы заключается в том, что повышение качества управления процессом рудоподготовки за сет перераспределения загрузок между отдельными стадиями этого процесса, в соответствии с текущими характеристиками перерабатываемой руды и состояния технологического оборудования, позволяет добиться снижения нагрузок на конечную стадию – измельчение, что, в свою очередь, способствует общему снижению энергопотребления.

Литература

1. Маринич І. А. Адаптивне керування дробильним комплексом на базі моделі з розподіленими параметрами процесу скорочення крупності руди : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.13.07 «Автоматизація процесів керування» / І. А. Маринич. – Кривий Ріг, 2013. – 21 с
2. Патент 80547 Україна, МПК 2013.01. Система автоматичного керування процесом рудопідготовки / Маринич І. А. Заявник і патентовласник ДВНЗ «Криворізький національний університет»; заявл. 17.09.2012; опубл. 10.06.2013. // Бюл. №11.
3. Патент 72410 Україна, МПК 2012.01. Спосіб управління дробильно-подрібнювальним комплексом / Маринич І. А. Заявник і патентовласник «Криворізький технічний університет»; заявл. 29.08.2011; опубл. 27.08.2012. // Бюл. №16.
4. Modicon Premium PLCs TSX 57/PCX 57 Implementation Manual [Электронный ресурс]. – Vol. 1-4. // – Режим доступа : [http://www.schneider-electric.ru/sites/russia/ru /support/automation-and-control-library/download/download-documents.page](http://www.schneider-electric.ru/sites/russia/ru/support/automation-and-control-library/download/download-documents.page) (21.06.2014).
5. Дамба-Очир Д. Принципы построения АСУ ТП измельчения на базе вибро-акустического анализатора загрузки мельницы ВАЗМ-1 / Д. Дамба-Очир, И. Т. Кимяев, К. Я. Улитенко // Цветные металлы [РФ]. – 2003. – №10. – С. 104-111.
6. Шупов Л. П. Моделирование и расчет на ЭВМ схем обогащения / Л. П. Шупов. – М. : Недра, 1980. – С. 288.
7. Сербул О. М. Обґрунтування підходу підвищення точності ідентифікації співвідношення руда/вода в кульових млинах із циркулюючим навантаженням / О. М. Сербул, В. О. Кондратець // Збірник наук. праць Кіровоградського національного технічного ун-ту. – Кіровоград, 2009. – Вип. 22. – 347 с.
8. Топчаев В. П. Новый поточный гранулометр «ПИК-074П / В. П. Топчаев, А. В. Топчаев, М. В. Лapidус // Цветные Металлы [РФ]. – 2007. – №7. – С. 87-98.
9. Воронов В. А. Система автоматической оптимизации крупности помола в замкнутом цикле измельчения / В. А. Воронов // Академический вестник [Кривой Рог]. – 2009. – Вып. 23-24. – С. 215-219.
10. Маринич І. А. Адаптивне согласованного управління дробильно-измельчительным комплексом на базе структуры с рапределенными параметрами функции сокращения крупности руды / І. А. Маринич // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. праць. – 2012. – №31. – С. 225-228.