

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РУДОПОДГОТОВКОЙ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ

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].

На рис.1 приведена функциональная блок-схема системы автоматического управления процессом рудоподготовки на дробильно-измельчительном комплексе. На рис.1, 2 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 информации, 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.

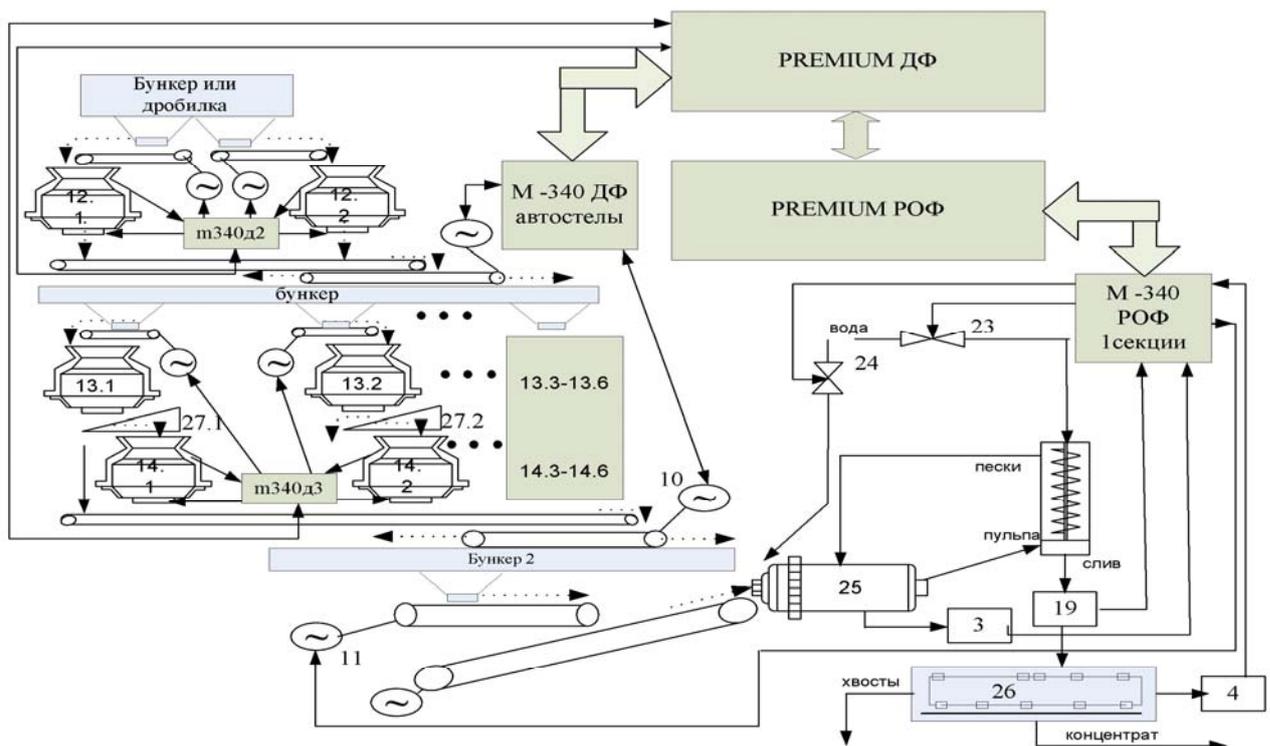


Рис.1- Блок-схема САУ одной очереди дробильной фабрики и секции фабрики обогащения по каналу удельных затрат электроэнергии

Система автоматического управления процессом обогащения рудных материалов работает следующим образом.

Информация о состоянии технологического процесса, поступает из подсистемы 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 вычисления параметров функции распределения по крупности перерабатываемого сырья.

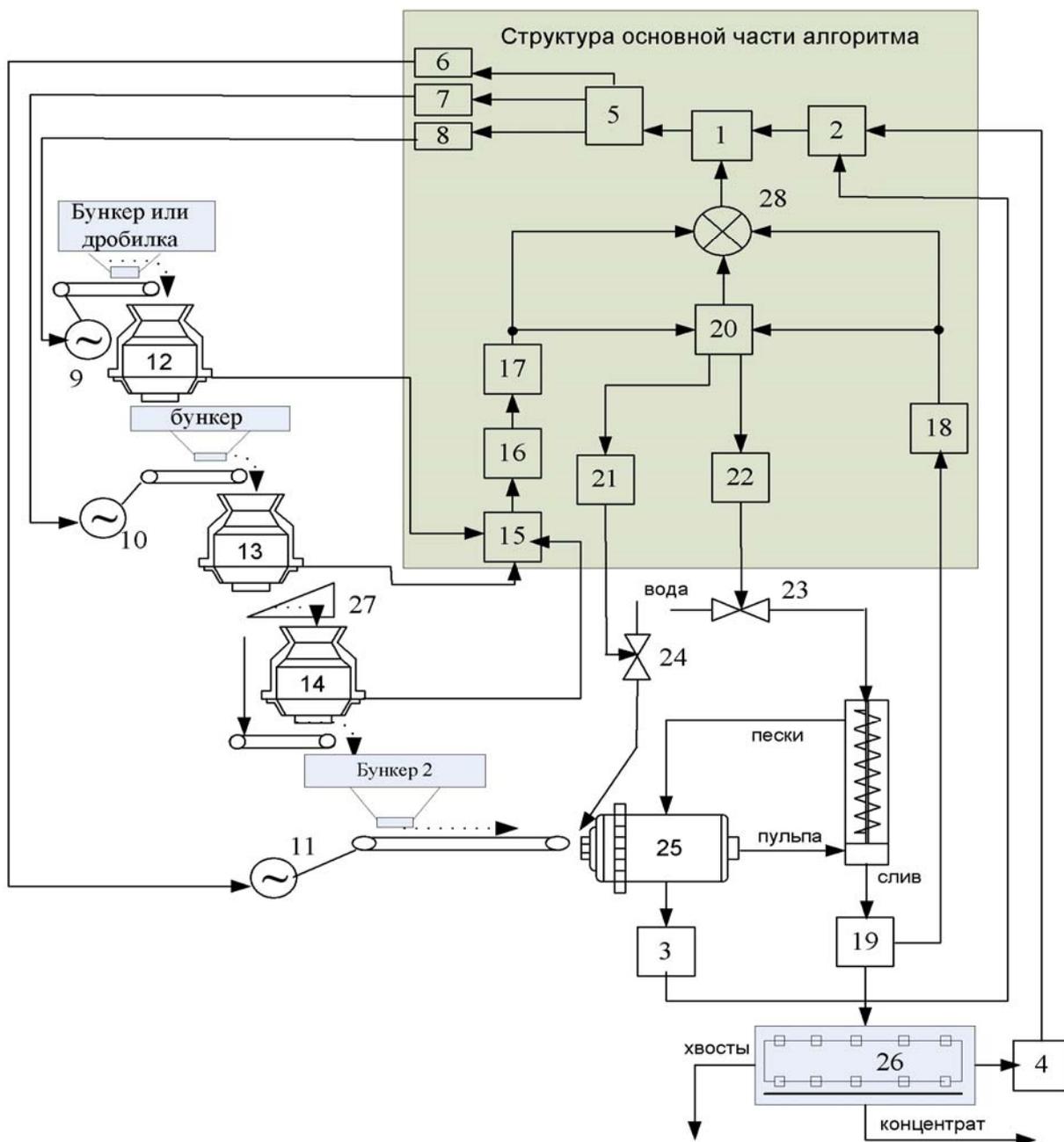


Рис. 2-Блок-схема алгоритма САУ процессом рудоподготовки

Так как для эффективного управления целесообразно рассматривать дробильно-измельчительные комплекс как единое целое, поэтому устройство содержит второй блок 18 вычисления 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 вычисления соотношения granulометрических характеристик, к которому присоединен первый блок 17 вычисления 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, а выход сумматора 28 подключен к 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-измельчительные комплексом, 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.3 приведена функциональная схема АСУ процессом рудоподготовки с выбранным оборудованием Schneider Electric, которое было представлено на рис.1.

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. 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» 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.

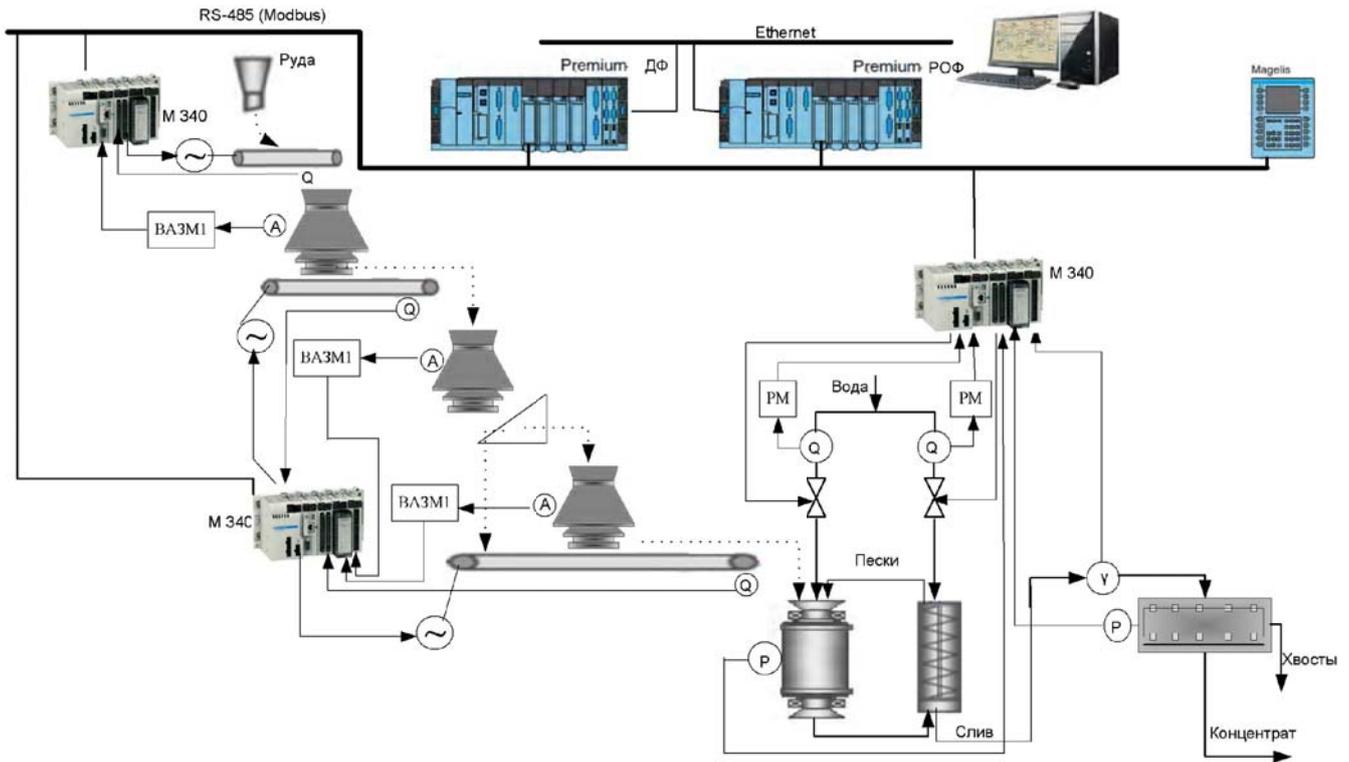


Рис.3- Схема аппаратной реализации САУ процессом измельчения по каналу удельных затрат электроэнергии

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. Эта панель используется для корректировки ПЛК Premium (модули которого реализуют блок 1 распределенного регулятора и блок 2 вычисления соотношения параметров потребляемой активной мощности).

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

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

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

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

и блока 20 вычисления соотношения гранулометрических характеристик, также возложены на контроллеры М 340 и подключаются с помощью базовым блокам 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 формуле 2:

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

K – постоянная, характеризующая содержание влаги в песках классификатора; A – постоянная, зависящая от плотности твердого, воды и содержания влаги в песках классификатора;

$$A = \frac{\delta m}{1 + K \cdot \frac{\delta m}{\delta \varepsilon}}$$

$Q_{п}$ 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», 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 [3]:

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

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.

Технический результат от использования данной системы заключается в том, что повышение качества управления процессом рудоподготовки за счет 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 И.А. Математическое описание дробильно-измельчительного комплекса горнообогатительного комбината в виде структуры с распределенными параметрами //Вісник КТУ.-2011.-вип. 28. -С.250-256
2. Сербул О.М. Обґрунтування підходу підвищення точності ідентифікації співвідношення руда/вода в кульових млинах із циркулюючим навантаженням /Сербул О.М., Кондратець В.О.// Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Зб. наук.пр. –Кіровоград, 2009. – Вип. 22. – 347с.
3. Воронов В.А. Система автоматической оптимизации крупности помола в замкнутом цикле измельчения // Академический вестник. – Кривой Рог, 2009. –Вып. 23 – 24. – С. 215 – 219.
4. Подгородецкий Н.С. Энергоэффективное адаптивное управление замкнутым циклом измельчения руды на базе гибридной нечеткой модели / Подгородецкий Н.С.: Автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.13.07 «Автоматизация технологических процессов». – Кривой Рог, 2011. – 24 с.