

Висновки та напрямки подальших досліджень. Для формування узгодженого керування використано алгоритм, що базується на визначенні типу пробуксовки та величини коректуючої дії на сигнал завдання. При цьому визначено, що доцільніше використовувати факт падіння пружного моменту $M_{ijв(н)}$ в кінематичних лініях стану в комплексі з різницею статичних моментів $\Delta M_{св(н)}$ та похідною пружних моментів в кінематичній лінії стану dM_{ij}/dt , що дозволить визначити початок пробуксовки на ранній стадії до її розвитку у аварійний стан. Аналіз результатів використання запропонованого алгоритму показав зменшення часу реакції на пробуксовку, порівняно з існуючими методами, на 0,18 с.

Список літератури

1. **О.В. Слежановский.** Электропривод реверсивных станов горячей прокатки / **Слежановский О.В.** // М.: Металлургиздат, 1961. - 444 с.
2. **Коцарь С.Л., Поляков Б.Н., Макаров Ю.Д., Чичигин В.А.** Статистический анализ и математическое моделирование блюминга. – М.: Металлургия, 1974. – 280 с.
3. **Бычков В.П.** Электропривод и автоматизация металлургического производства. Учебное пособие для / **В.П. Бычков.** – [2-е изд., перераб и доп.] – М.: Высшая школа, 1977. – 391 с.
4. **Афанасьев В.Д.** Автоматизированный электропривод в прокатном производстве: учебник для вузов / **Василь Данилович Афанасьев.** – М.: Металлургия, 1977. – 280 с.
5. **Тарновский И.Я., Пальмов Е.В., Тягунов В.А., Макаев С.В., Котельников, Л.В. Андреюк В.П.** Прокатка на блюминге / под ред. **И.Я. Тарновского.** – М.: Металлургиздат, 1963. – 390с.
6. **Штовба С. Д.** Идентификация нелинейных зависимостей с помощью нечеткого логического вывода в системе MATLAB // Exponenta Pro. – 2003. - № 2 (2). – С. 9–15.

Рукопис подано до редакції 15.04.14

УДК 622.73: 658.562

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

АНАЛИЗ СПОСОБОВ И МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ НА ЭТАПЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Выполнен критический анализ средств и методов контроля качества железорудного сырья на этапе подготовке руды к обогащению. Разработана функциональная схема автоматизированной системы управления процессом подготовки руды к обогащению, позволяющая стабилизировать массовую долю магнитного железа в сливе классификатора, объемное заполнение мельницы и плотность пульпы на сливе классификатора.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Контроль качества железорудного сырья является приоритетным направлением на сегодняшний день на горнообогатительных предприятиях Украины. Отсутствие комплексных систем стабилизации технологических параметров процесса подготовки руды к обогащению обуславливает колебание качества конечного продукта и большие потери полезного компонента в хвосты обогащения. Колебания качества концентрата происходят по причине изменений содержания полезного компонента в питании мельницы, недостаточной загрузки мельницы и колебания плотностных режимов в ней, нестабильности плотности пульпы на сливе классификатора. В связи с этим требуется создание системы автоматизации, которая будет контролировать и управлять основными контурами процесса измельчения.

Анализ исследований и публикаций. Проблема стабилизации качества минерального сырья начинала рассматриваться еще в советское время [1-3]. В нынешнее время в связи с переходом на рыночную экономику к качеству концентрата предъявляются гораздо более жесткие требования.

В проблемно-отраслевой лаборатории министерства промышленной политики Украины под руководством профессора А.А. Азаряна разрабатываются методы и средства для стабилизации массовой доли железа на конвейере при помощи магнитного и гамма-гамма методов [4-12]. Гамма-методы позволяют определять в горной породе содержание железа общего (FeO , Fe_2O_3), магнитный метод - железа магнитного (Fe_3O_4) [13].

Также рассматриваются методы стабилизации соотношения «твердое-жидкое» в мельнице и контроль плотности пульпы на ее сливе [14]. Помимо данных параметров также важным является контроль объемной загрузки мельницы [15] и снижение энергоемкости процесса измельчения. В ряде работ [16-18] анализируются факторы, приводящие к колебаниям качества конечного продукта, и способы его стабилизации.

Перспективным направлением можно считать применение интеллектуальных систем для управления процессом измельчения [19], а также объединение в единую схему нескольких контуров контроля технологических параметров [20].

Анализ существующих систем стабилизации показал, что на этапе подготовки руды к обогащению основное внимание уделяется одному конкретному контуру вместо стабилизации технологических параметров в основных точках системы и направления информационных потоков в управляющий блок для оперативной коррекции отклонений от заданных значений.

Постановка задания. Основными факторами при автоматизации процессов измельчения железной руды и ее классификации, непосредственно влияющими на качество конечного продукта, являются поддержание объемного заполнения мельницы сырьем, плотности пульпы как в измельчительной установке, так и на сливе классифицирующего аппарата. Автоматизация процесса измельчения руды дает возможность повышения качества концентрата и снижения его себестоимости, благодаря оптимизации параметров исходного сырья, которое поступает на магнитную сепарацию. Поэтому наличие сведений о качестве руды на питателе и о содержании в ней полезного компонента является важным фактором для оптимизации процесса подготовки руды к обогащению и разработка системы для контроля этих параметров является актуальной.

Анализируя источники, следует отметить, что большинство систем автоматизации подразумевают автоматизацию одного конкретного контура процесса, но не учитывается необходимость объединения систем автоматизации разных контуров в единую систему для координации информационных потоков от них.

В связи с этим, необходимо разработать такую систему контроля процессов измельчения сырья, в которой информационные потоки от каждого из контуров будут направляться в единый информационный блок для согласования последующих управляющих воздействий, что позволит повысить качество процесса подготовки руды к обогащению и качество сырья, подаваемого на первый этап магнитной сепарации.

Изложение материала и результаты. Рассматривая процессы измельчения и обогащения железной руды, можно рассматривать обрабатываемое сырье таким образом: руда, подаваемая на питатель, характеризуется содержанием в ней полезного компонента. После подачи в мельницу руда смешивается с водой и превращается в пульпу. На данном этапе основными свойствами обрабатываемого сырья (пульпы) является плотность, а также соотношение твердой фазы и жидкой (Т:Ж). После измельчения в мельнице пульпа поступает в классификатор, где происходит разделение недоизмельченной и измельченной в достаточной мере руды. Недоизмельченная руда в составе циркулирующей нагрузки отправляется обратно в мельницу на доизмельчение (основными параметрами является плотность циркуляционной нагрузки и ее объем), а измельченное до необходимых размеров сырье отправляется в слив классификатора. Основными его свойствами являются плотность и соотношение твердой фазы и жидкой (Т:Ж). После завершения этапа измельчения происходит магнитная сепарация, которая, в зависимости от технологии, может состоять из нескольких этапов, но конечными продуктами которой являются концентрат (характеризуется содержанием в нем железа) и хвосты обогащения (пустая порода). Схематически данная последовательность изображена на рисунке 1.

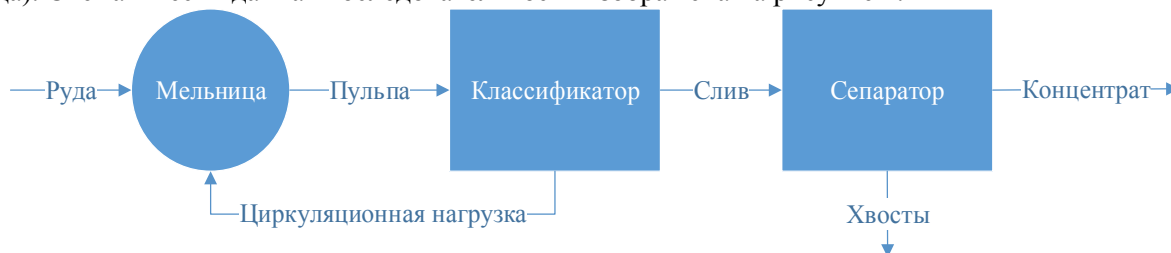


Рис. 1. Схема преобразования сырья на этапах измельчения и обогащения железной руды

На рис. 2 изображена функциональная схема системы автоматизации процесса измельчения руды, позволяющей контролировать изменения технологических параметров в наиболее важных узлах измельчительной системы и оперативно производить регулирующие воздействия для их стабилизации.

Описание элементов функциональной схемы:

Питатель - это конструкция, предназначенная для равномерной подачи сыпучих, кусковых грузов из бункеров, загрузочных лотков, магазинов и других загрузочных устройств в перерабатывающие машины. Производительность регулируется изменением скорости движения ленты и высоты слоя руды. Питатель обеспечивает равномерную непрерывную подачу материала в технологической цепи.

Датчик содержания магнитного железа - прибор, анализирующий количество магнитной составляющей руды, находящейся на питателе. Позволяет на выходе получать одинаковую массу магнитной составляющей руды, что предусматривает подачу на первую стадию магнитной сепарации сырья, из которого будет получена заданная масса концентрата. Благодаря датчику содержания магнитного железа осуществляется контроль количества полезного компонента в руде, питающей мельницу. После измерения количества полезного компонента в руде полученное значение сравнивается с заданным значением, установленным в регуляторе с задатчиком, и в случае необходимости, корректируется - при отклонении текущего значения в начальной руде от заданного в сторону увеличения заданное значение потребления руды в мельницу уменьшают, а при его отклонении в сторону уменьшения - увеличивают.

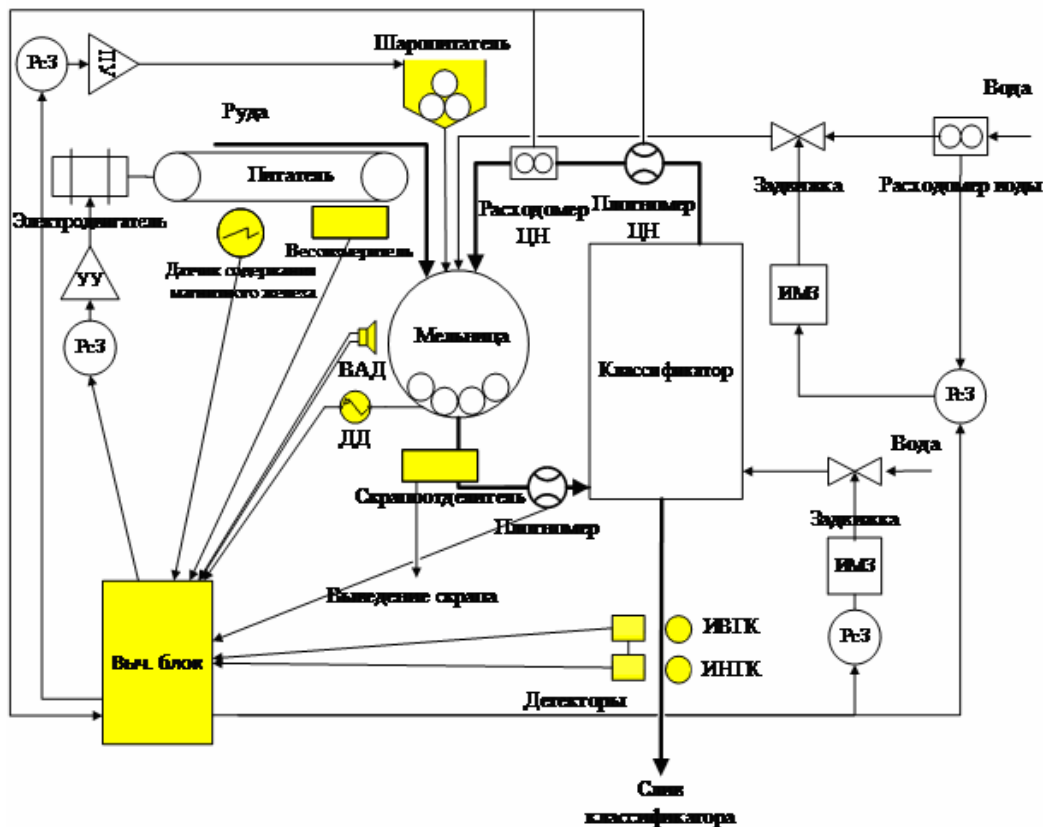


Рис. 2. Функциональная схема системы автоматизации процесса измельчения руды: ИВГК - источник высокоэнергетических гамма-квантов; ИНГК - источник низкоэнергетических гамма-квантов; ВАД - виброакустический датчик; Расходомер ЦН - расходомер циркуляционной нагрузки; лотномер ЦН - лотномер циркуляционной нагрузки; Р-З - регулятор с задатчиком; ИМЗ - исполнительный механизм задвижки; УУ - устройство управления; ДД - другие датчики (датчик активной мощности мельницы, датчик уровня давления масла в подшипнике мельницы, радиоизотопный датчик заполнения мельницы)

Датчик содержания магнитного железа может быть выполнен из источника гамма-излучения (например, с радионуклидами $Cz-137$), помещенного в свинцовый контейнер с небольшим отверстием для направленного вывода излучения, а также приемника сигнала (детектора), расположенного над питателем, и, соответственно, источником излучения. Приемник сигнала связан с вычислительным блоком, который в зависимости от интенсивности получен-

ного гамма-излучения рассчитывает содержание полезного компонента в руде на питателе. Для этого в вычислительный блок должна быть занесена таблица соответствий интенсивностей гамма-излучений содержанию магнитного железа.

Также для эффективного контроля содержания полезного компонента в руде необходимо учитывать высоту слоя руды на питателе - для этого можно использовать датчик высоты, который может измерять расстояние, например, с помощью ультразвука (точность - до 0,2 мм). Значение высоты слоя руды направляется в вычислительный блок. Другим способом будет использование механизма, позволяющего насыпать руду на питатель так, чтобы высота ее слоя оставалась постоянной. В таком случае значение высоты слоя должно быть занесено в вычислительный блок как константа.

Весоизмеритель - определяет количество руды на питателе и взаимодействует с регуляторами расхода воды и скорости движения конвейера.

Мельница - устройство, управляющее процессом разрушения и уменьшения размеров кусков минерального сырья под воздействием механических сил. Различают шаровые, стержневые и мельницы самоизмельчения. Шаровые мельницы измельчают руду за счет движения металлических шаров, описывающих параболические движения при вращении барабана мельницы. Стержневые мельницы работают аналогично, но измельчающей средой в них служат стержни разного размера. В мельнице самоизмельчения разрушения материала происходит в результате удара кусков друг о друга при падении и сжатии [21].

Шаропитатель - устройство для подачи порции измельчающих стальных шаров в мельницу через заданные промежутки времени. Временной промежуток определяется исходя из твердости руды и прочности шаров. Осуществляется догрузка либо наиболее крупных шаров (регулярная догрузка мельницы), либо шаров разных размеров (рациональная догрузка), что в ряде случаев позволяет добиться лучших результатов измельчения.

Скрапоотделитель - конструкция, расположенная на сливе мельницы, предназначенная для выведения из цикла измельчения остатков измельчающей среды - скрапа, образующегося в результате стирания шаров. Она позволяет уменьшить энергоемкость процесса измельчения и увеличить его эффективность за счет уменьшения циркуляционной нагрузки.

Виброакустический датчик - датчик, позволяющий определить уровень загрузки мельницы на основе анализа шума и вибраций, исходящих от нее. Для изоляции датчика от воздействия на него посторонних шумов (например, от соседних мельниц), он защищается кожухом и располагается непосредственно у мельницы.

Вычислительный блок - устройство для расчета уровня загрузки мельницы. Получает информацию от датчиков: содержания магнитного железа в руде на питателе; весоизмерителя; виброакустического датчика и других устройств, определяющих уровень объемного заполнения мельницы (датчика активной мощности мельницы, датчика уровня давления масла в подшипнике мельницы, радиоизотопного датчика заполнения мельницы), а также плотномера и расходомера циркулирующей нагрузки. На основе полученной информации рассчитывает необходимое количество руды и воды для подачи в мельницу для поддержания ее заданного объемного заполнения, поддержания заданного соотношения "жидкое - твердое", а также стабилизации содержания магнитного железа в руде, подаваемой на измельчение. Также подает сигналы через определенные промежутки времени на шаропитатель, который обеспечивает мельницу свежими порциями шаров. Также вычислительный блок используется для стабилизации плотности пульпы на сливе классификатора. Блок выполняет расчеты на основании информации, получаемой от плотномеров слива мельницы и слива классификатора, и передает сигнал на регулятор с задатчиком для сравнения подсчитанного значения требуемого объема подачи воды в классификатор с текущим значением, после чего формирует управляющее воздействие на исполнительный механизм задвижки и регулирует подачу воды.

Классификатор - аппарат, предназначенный для разделения тонкозернистых материалов на фракции различной крупности и плотности в жидкой или воздушной среде. Осуществляемый в нем процесс разделения основывается на различии скоростей ограниченного падения крупных и мелких, плотных и легких частиц, взвешенных в среде, которая находится в состоянии покоя или движется. Классификатор разделяет зерна разных размеров и плотности - по равнопадению, зерна с одинаковой плотностью - по крупности, зерна одинакового размера - по плотности [22].

Вода вместе с взвешенными в ней минеральными частицами является пульпой, что является начальным продуктом (питанием) классификатора. В классификаторе пульпа разделяется на два или несколько продуктов (фракций) различной крупности. При разделении на два продукта больший продукт носит название песковой фракции, сокращенно - песков, а продукт, который мельче - называется сливом.

Плотномер - автоматический прибор, обеспечивающий измерение плотности жидких образцов.

Источник высокоэнергетических гамма-квантов - источник (Cs-137, 660 кэВ), расположенный в свинцовом контейнере, обеспечивающем биологическую защиту и формирующий узкий пучок гамма-квантов. Позволяет получить информацию о плотности пульпы, которая проходит через поток гамма-квантов.

Источник низкоэнергетических гамма-квантов - источник (Am-241, 60 кэВ), расположенный в свинцовом контейнере, обеспечивающем биологическую защиту и формирующий узкий пучок гамма-квантов. Позволяет получить информацию об эквивалентном атомном номере вещества, проходящем через пульпопровод, т.е. информацию о содержании железа в сливе классификатора.

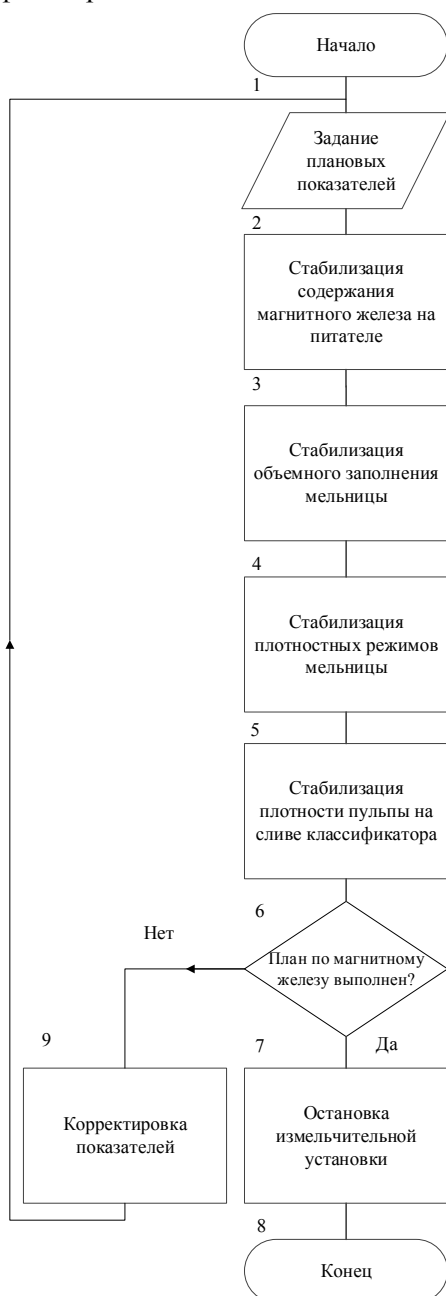


Рис. 3. Алгоритм работы системы автоматизации процесса измельчения руды

Детектор (сцинтилляционный) - устройство, позволяющее оценить интенсивность гамма-излучения, проходящего через пульпопровод, и на основе этой информации сделать расчет плотности пульпы и содержания полезного компонента в сливе классификатора.

Устройство управления (УУ) - блок, координирующий взаимодействие регуляторов с задатчиками с приборами, к которым они подключены. Осуществляет управление ключевыми элементами системы, автоматически поддерживает заданные параметры работы управляемых устройств, обеспечивает защиту от аварийных режимов.

Описание функциональной схемы. Система автоматизации подготовки руды к обогащению работает следующим образом: в регуляторе с задатчиком, соединенным с вычислительным блоком, задается плановая выработка магнитного железа. Далее руда подается в шаровую мельницу с помощью ленточного питателя, который приводится в действие двигателем, включающимся после задания плановой выработки полезного компонента.

На соответствующем участке ленточного питателя происходит измерение массы руды, находящейся на данном участке, а также измерение содержания в ней магнитного железа.

Результаты измерений передаются в вычислительный блок, где подсчитывается масса полезного компонента в измеряемой порции (масса руды умножается на содержание в ней магнитного железа). Далее эта масса суммируется с массами полезного компонента уже измеренных ранее порций сырья и проводится сравнение этой суммы с общей плановой массой магнитного железа.

В случае, если сумма равна или превышает общую плановую массу, то происходит подача по-

следней измеренной порции руды в мельницу и двигатель ленточного питателя отключается, далее происходит доизмельчение последних порций руды в мельнице и их классификация, после чего процесс прекращается. В случае, если сумма масс полезного компонента меньше общей плановой массы магнитного железа, то движение ленточного питателя продолжается и происходит измерение новых порций сырья.

Для контроля объемного заполнения мельницы используется виброакустический датчик шума мельницы, а также могут применяться комбинации других датчиков (датчик активной мощности мельницы, датчик уровня давления масла в подшипнике мельницы, радиоизотопный датчик заполнения мельницы).

Этот вид контроля позволяет проверить, достигнут ли установленный максимальный предельный уровень загрузки мельницы, при котором мельница еще может продолжать работу без угрозы аварии, однако превышение которого может вызвать выход из строя измельчительного оборудования.

В случае, если достигнут максимально предельный уровень загрузки мельницы, двигатель ленточного питателя останавливается, руда перестает поступать в мельницу, в вычислительном блоке выполняется перерасчет соотношения "твердое - жидкое", и стабилизируется для подачи воды в мельницу для изменения режимов плотности.

Через некоторое время снова происходит проверка уровня загрузки мельницы, и если он стал ниже критического, то подача руды с ленточного питателя будет возобновлена. В противном случае ряд вышеупомянутых операций вновь будет повторен.

Основываясь на информации о циркулирующей нагрузке и режимах плотности в мельнице, поступающей от датчиков в вычислительный блок, этот блок осуществляет расчеты, позволяющие стабилизировать соотношение "твердое - жидкое" путем регуляции скорости подачи руды в мельницу и количества подаваемой воды.

Вычислительный блок подает управляющие сигналы на вторичные приборы, соединенные с электродвигателем, управляя его скоростью, а также на исполнительный механизм задвижки для регулирования подачи воды в дробильный аппарат.

Еще одной задачей вычислительного блока является своевременная доставка новых порций шаров в мельницу для обеспечения эффективного измельчения. Через некоторый рассчитанный промежуток времени, определенный на основе информации о твердости руды и крепости шаров, вычислительный блок подает управляющее воздействие на регулятор с задатчиком, который передает сигнал на устройство управления шаропитателя.

После этого шаропитатель отправляет порцию шаров в дробильный аппарат.

Мелющие шары, которые стерлись в процессе измельчения сырья, выводятся из цикла с помощью скрапоотделителя, установленного в сливе мельницы.

Он разделяет куски руды и стертые шары, непригодные для эффективного измельчения сырья.

Пульпа, прошедшая через скрапоотделитель, измеряется плотномером, а результаты измерений передаются в вычислительный блок.

Классифицирующий аппарат разделяет измельченную руду, недоизмельченные куски которой отправляются в мельницу для доизмельчения, а готовый продукт проходит через плотномер, установленный на сливе классификатора, результаты измерений которого также отправляются в вычислительный блок.

Вычислительный блок на основе информации о плотности пульпы на входе классификатора и его сливе рассчитывает необходимое для подачи в классификатор количество воды, что позволяет добиться заданной плотности на сливе классификатора.

Устройство для контроля содержания полезного компонента позволяет определить количество магнитного железа, уже отправленного на стадию магнитной сепарации и количество магнитного железа, которое находится в измельчительном комплексе на текущий момент.

Через плотномер и расходомер проходит циркулирующая нагрузка, сведения с приборов передаются в вычислительный блок, и процесс продолжается до тех пор, пока план по магнитному железу не будет выполнен.

Выводы и направления дальнейших исследований. Проведен критический анализ литературы по вопросу стабилизации качества железорудного сырья на этапе подготовки руды к обогащению. Разработана функциональная схема автоматизированной системы управления

процессом подготовки руды к обогащению, которая позволит стабилизировать массовую долю магнитного железа в сливе классификатора, объемное заполнение мельницы и плотность пульпы на сливе классификатора. Вычислительный блок позволит координировать информационные потоки и формировать управляющие воздействия для оптимизации параметров процесса измельчения.

Использование описанной системы позволит увеличить эффективность процесса измельчения сырья и уменьшить его энергоемкость, стабилизировать содержание магнитного железа в концентрате, повысить качество концентрата и уменьшить количество потерь полезного компонента в хвосты обогащения.

Список литературы

1. **Марюта А.Н.** Контроль качества минерального сырья / **А.Н. Марюта, П.К. Младецкий, П.А. Новицкий.** // К.: Техніка, 1976. –220 с.
2. **Троп А.А., Козин В.З., Прокофьев Е.В.** Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик. – М.: Недра, 1986. – 303 с.
3. **Процудо В.С.** Автоматизированные системы управления процессами обогатительных фабрик, - М., Недра, 1987, 253 с.
4. **Азарян А.А.** Система оперативного контроля качества железистых кварцитов на конвейере / **А.А. Азарян, В.А. Азарян, В.В. Дрига** // Качество минерального сырья: Сб. научн. тр. – Кр. Рог, 2011. - С.184-190.
5. **Дрига В.В.** Исследование и классификация факторов снижающих точность непрерывного контроля качества магнетитовых руд / **В.В. Дрига** // Качество минерального сырья: Сб. научн. тр. – Кр. Рог, 2011. - С.168-179.
6. **Дрига В.В.** Исследование влияния изменения пространственного расположения рудного материала в магнитном поле накладного индуктивного преобразователя на точность непрерывного контроля качества магнетитовых руд / **В.В. Дрига** // Качество минерального сырья: Сб. научн. тр. – Кр. Рог, 2011. - С.64-80.
7. **Цыбулевский Ю.Е.** Исследование влияния физических характеристик материала железосодержащей пробы на размеры индуктивных датчиков. / **Ю.Е. Цыбулевский, А.В. Швыдкий** // Качество минерального сырья: Сб. научн. тр. – Кр. Рог, 2011. - С.208-212.
8. **Азарян А.А.** Непрерывный контроль технологических потоков на конвейере / **А.А. Азарян, Г.Н. Лисовой, Д.Ю. Мирошник** // Качество минерального сырья: Сб. научн. тр. – Кр. Рог, 2011. - С.221-228.
9. **Азарян А.А.** Разработка переносного устройства оперативного контроля качества минерального сырья / **А.А. Азарян, В.В. Дрига, Д.С. Белименко** // Форум гірників–2006 : мат. міжнар. конф., 11–13 жовт. 2006 р., Дніпропетровськ / Нац. гірничий ун-т. –Дніпропетровськ, 2006.
10. **Дрига В.В.** Исследование и классификация факторов, влияющих на геофизический мониторинг массовой доли магнетита в горной массе / **В.В. Дрига** // Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. пр. / Криворізький техн. ун-т. –Кривий Ріг: Мінерал, 2006. –Вип. 14. –С. 150-153.
11. Качество минерального сырья / **А.А. Азарян, В.А. Колосков, Л.А. Ломовцев, А.Д. Учитель** – Кривой Рог: Мінерал, 2001 – 201 с.
12. **Азарян А.А., Василенко В.Е., Зубкевич В.Ю., Лисовой Г.Н.** Контроль качества железной руды на конвейере // Сборник научных трудов «Качество минерального сырья»: – Кривой Рог, 2000.
13. **Белименко Д.С.** Лабораторные испытания устройства оперативного контроля качества минерального сырья/ **Д.С. Белименко** // Разработка рудных месторождений – Кривой Рог – Вып. 92, 2008.
14. **Ворников Д.Н.** Исследование и разработка системы контроля и управления режимом работы мельницы / **Д.Н. Ворников** // Качество минерального сырья: Сб. научн. тр. – Кр. Рог, 2011. - С.310-322.
15. Спосіб автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнення: патент 56304 / **Кучер В.Г., Черняков С.Н., Кривенко Ю.Ю.**; власник патенту КТУ; завл. 14.06.2010; опубл. 10.01.2011, Бюл. №1.
16. **Зубкевич В.Ю.** Контроль вещественного состава железорудного сырья / **В.Ю. Зубкевич** // Качество минерального сырья: Сб. научн. тр. – Кр. Рог, 2011. - С.154-168.
17. **Шолох Н.В.** Формирование качества полезного ископаемого и рудного сырья горнорудных предприятий / **Н.В. Шолох, А.Л. Топчий** // Гірничий вісник. – Кривий Ріг – Вип. 97, 2014. - С.26-29.
18. **Кондратец В.А.** Исследование динамики пульпы в улитковом питателе при измельчении песков механического двухспирального классификатора / **В.А. Кондратец А.Н. Мацуй** // Гірничий вісник. – Кривий Ріг – Вип. 97, 2014. - С.276-280.
19. **Маринич И.А.** Обоснование применения интеллектуальных систем управления дробильно-измельчительным комплексом / **И.А. Маринич** // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг – Вип. 35, 2014. - С.134-138.
20. **Азарян А.А.** Автоматизация первой стадии измельчения, классификации и магнитной сепарации – реальный путь повышения эффективности обогащения железных руд / **А.А. Азарян, Ю.Ю. Кривенко, В.Г. Кучер** // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг – Вип. 36, 2014. - С.275-280.
21. Горная энциклопедия: мельница [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.mining-enc.ru/m/melnica/>
22. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. Ч.1 / [**Островский Г.М., Абиев Р.Ш., Барабаш В.М.** и др.]; под ред. **Г.М. Островского.** – Санкт-Петербург: АНО НПО «Профессионал», 2004. – 846 с.

Рукопись поступила в редакции 25.03.14