

УДК 622.73

А.А. АЗАРЯН, д-р техн. наук, проф.,
Ю.Ю. КРИВЕНКО, В.Г. КУЧЕР, кандидаты техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЕРВОЙ СТАДИИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ, КЛАССИФИКАЦИИ И МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ – РЕАЛЬНЫЙ ПУТЬ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

Выполнен анализ отечественной и зарубежной практики обогащения железных руд и систем автоматического управления технологическими процессами. Обоснована система, направленная на снижение колебаний железа в концентрате за счет поддержания постоянства магнитной составляющей в исходной руде. Система реализуется за счет стабилизации на заданном уровне расход руды, поступающей в шаровую мельницу, из заданным содержанием магнитного железа, стабилизацию на заданном уровне соотношение «руда-вода» изменением количества воды подаваемой в мельницу, стабилизацию заданной плотности слива классификатора подачей дополнительной воды в классификатор. Новым является то, что дополнительно измеряют текущее значение магнитного железа в исходной руде, сравнивают его из заданным значением и корректируют заданную производительность исходной руды в зависимости от величины отклонения содержания магнитного железа в исходной руде от заданного.

Проблема и ее связь с научным и практическими задачами. Обогащение магнетитовых кварцитов на обогатительных фабриках Кривбасса осуществляется способом магнитной сепарации последовательно измельчаемой руды. Автоматизация процессов измельчения и магнитной сепарации является мощным средством повышения рентабельности производства, повышения качества концентрата и снижения потерь металла в хвосты обогащения. К сожалению, в настоящее время горно-обогатительные предприятия Кривбасса отказываются финансировать разработку новых средств контроля или систем автоматизации технологического процесса обогащения магнетитовых руд и соглашаются рассматривать возможность реализации только готовых изделий или проверенных в промышленных условиях систем.

С учетом складывающейся ситуации на горнорудных предприятиях Украины рассмотрим три возможные варианта постановки задачи автоматизации РОФ:

обеспечение максимальной производительности секции обогащения при ограничениях на качество концентрата;

обеспечение максимального качества концентрата при ограничениях по производительности;

обеспечения заданной производительности, при обеспечении качества концентрата на заданном уровне и ограничении потерь железа в хвосты обогащения.

Оптимальным в сложившейся ситуации является третий вариант - предложения направленные на снижения потерь железа в хвосты обогащения дают прямой экономический эффект в условиях фабрики, а снижение колебания содержания железа в концентрате, при обеспечении его качества на заданном уровне, дает значительный экономический эффект в условия аглодомного производства.

Анализ исследований и публикаций. В отечественной и зарубежной практике обогащения железных руд накопился определенный опыт разработки систем автоматического управления технологическими процессами. В СССР, в основном, развивались идеи построения централизованных АСУТП [1][2] реализующих двух и трехуровневые структуры управления.

Для построения централизованных АСУТП секции обогащения или ее отдельных стадий было предложено ряд сложных алгоритмов управления базирующихся на регрессионно-корреляционных, эвристических и физико-теоретических моделях технологического процесса обогащения. Как показала практика, эффективность таких систем управления низкая, что объясняется как их противоречием с объектом автоматизации, имеющим децентрализованную структуру, так и сложностью их реализации. С точки зрения технологии, эти алгоритмы управления ничего нового не предлагают, однако, вместо простых, надежных и понятных обслуживающему персоналу систем автоматической стабилизации технологических параметров, предлагается нагромождение технических средств, требующих значительных затрат не только на их внедрение, но и на промышленную эксплуатацию. Обычно, также системы работают до момента их сдачи в промышленную эксплуатацию и перестают работать с момента прекращения их

експлуатации разработчиком.

Постановка задачи. Предложить новые способы автоматического управления первой стадией измельчения, классификации и магнитной сепарации, и разработать системы автоматического управления для их реализации.

Изложение материала и результаты. Неоднократно предпринимались попытки автоматизировать процесс обогащения магнетитовых руд путем построения классических схем, используя в качестве регулирующего параметра качество концентрата, а в качестве управляемого - изменения производительности исходного питания или величины циркулирующей нагрузки.

Ни один из предлагаемых способов или устройств для управления многостадийным процессом обогащения не нашел промышленного применения, в первую очередь, из-за значительного транспортного запаздывания между входом и выходом системного автоматического регулирования (САР), когда по показаниям содержания железа в концентрате, полученного из руды с одними физико-химическими свойствами, управляют на входе секции рудой с другими физико-химическими свойствами. При изменении физико-химических свойств руды изменяется объем циркулирующей нагрузки на первой стадии измельчения и классификации, значение которой колеблется в пределах от 50 до 60 % [3].

Изменение рециклов на первой стадии процесса обогащения передается в последующие стадии, что приводит к нарушению технологического процесса и колебаниям выхода и качества концентрата.

Еще в 60-70-х годах прошлого столетия на ГОКах Кривбасса были проведены работы по установлению корреляционных и дисперсионных связей между переменными, характеризующими производительность секции по исходной руде и содержанию в ней железа, с параметрами, характеризующими промежуточные и конечные показатели процесса обогащения, плотностью слива классификатора и содержанием в нем готового класса (-0,074 мм), содержанием железа в промпродуктах и концентрате [4]. Анализ нормированных граф, представляющих корреляционные связи между переменными технологической линии обогащения, показал, что переделом, который задает режим работы последующим переделам, является технологический блок первая стадия измельчения и классификации (I-я ст. ИК) и первая стадия магнитной сепарации (I-я ст. МС).

Режим работы этого блока определяет режим работы всех последующих стадий обогащения. Было установлено, что управлять режимом работы I-й ст. МС можно путем изменения плотности слива классификатора, так как между плотностью слива, содержанием в нем класса 0,074 мм, а также качеством и выходом продукта I-й ст. МС существует жесткая корреляционная связь. Было определено, что наиболее эффективным регулирующим воздействием, влияющим на процесс обогащения, является изменение плотности слива классификатора, а результаты работы I-й ст. ИК предопределяют результаты работы остальных стадий.

На базе проведенных исследований были разработаны системы автоматического управления (САУ) узлом измельчения и классификации исходной руды: система автоматического регулирования (САР) подачи воды в мельницу путем поддержания заданного соотношения «руда-вода» или «твердое-жидкое», САР подачи руды в мельницу в зависимости от крупности руды или по звукометрическому сигналу, САР плотности пульпы в сливе классификатора. Автоматизация РОФ сводилась к автоматизации I ст. ИК.

С момента разработки указанных систем прошло более пятидесяти лет, но в вопросах автоматизации процессов измельчения в обогащении мало что изменилось.

Ниже приводятся выводы изучения состояния автоматизации первой стадии измельчения на постсоветском пространстве проведенные сотрудниками ОАО «Союзцветметавтоматика» (Россия).

«Уровень автоматизации процессов измельчения сильно отличается на различных предприятиях: от практически нулевого, до достаточно развитых систем интеллектуальной оптимизации процесса.

Приведем наиболее типичные задачи автоматизации, решаемые путем введения контуров стабилизации технологических параметров в порядке уменьшения их распространенности: стабилизация расхода руды; стабилизация соотношения руда-вода посредством подачи воды в мельницу; стабилизация плотности слива классифицирующего агрегата (классификатора или гидrocиклона) подачей дополнительной воды в классификатор или зумпф.

В 95 % случаев автоматизация процессов измельчения этим и ограничивается» [5].

Рассмотрим, что нового за последние годы предложено в вопросах автоматизации первой стадии измельчения и классификации.

В последние годы специалистами ОАО «Союзцветметавтоматика» разработана система управления комплексом мельница-классификатор с использованием новейших аппаратных и программных средств собственного производства, таких как прибор определения объемного заполнения мельницы по звуковому сигналу ВАЗМ и гранулометр ПИК-074 [5]. ВАЗМ анализирует шумовые сигналы различной природы и формирует некий относительный или абсолютный показатель, характеризующий заполнение мельницы. Очень сложный процесс градуировки анализатора. Основная задача ВАЗМа - поддержание максимальной загрузки мельницы.

В Украине еще до распада СССР отказались от систем поддержания оптимальной (максимальной) загрузки мельницы - переход загрузки мельницы через максимум создает аварийную ситуацию, связанную с остановкой мельницы и, соответственно, всей секции. Технологи против таких систем.

Сотрудниками Криворожского национального университета предложен способ автоматического управления одностадийным циклом мокрого измельчения, включающий известные способы стабилизации параметров работы блока мельница-классификатор, - стабилизацию расхода исходной руды, стабилизацию соотношения «руда-вода» в мельницу и стабилизацию плотности слива классификатора, при этом дополнительно контролируется крупность твердого в сливе классификатора и по показаниями гранулометра корректируется заданное соотношение «руда-вода» в мельницу таким образом, что при увеличении крупности слива классификатора от заданного значения, количество воды в мельницу уменьшают, а при уменьшении - увеличивают в прямой пропорции в заданном диапазоне [6].

Предложенный способ может быть реализован с помощью системы автоматического управления, функциональная схема которого приведена на рис 1.

Схема включает в себя технологические агрегаты: бункер исходной руды 1; ленточный питатель руды 2; шаровую мельницу 3; спиральный классификатор 4 и следующие подсистемы:

подсистему стабилизации расхода исходной руды в мельницу, которая содержит весоизмеритель 5 расхода руды, вторичный прибор 6, размножитель сигналов 7, регистрирующий прибор 8 с задатчиком 9, блок 10 управления электродвигателем питателя 11, изменяющем скорость привода ленточного питателя 2, который подает руду в мельницу 3;

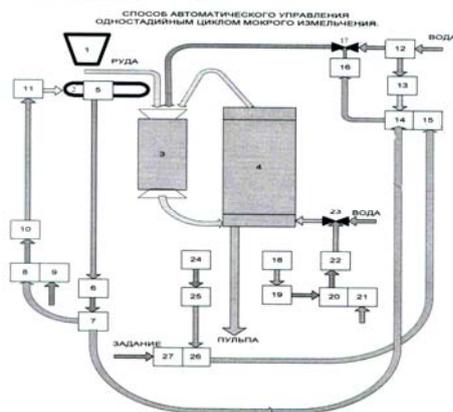


Рис. 1. Функциональная схема системы для реализации способа управления одностадийным циклом мокрого измельчения и описание её работы

подсистему стабилизации соотношения «руда-вода», которая содержит расходомер 12, вторичный прибор 6, размножитель сигналов 7, регистрирующий прибор 14 с задатчиком 15, управляющий исполнительным механизмом 16, задвижки 17, изменяющей расход воды в мельницу 3;

подсистему стабилизации плотности слива классификатора 4, которая содержит плотномер 18, вторичный прибор 19, регулирующий прибор 20 с задатчиком 21, управляющим исполнительным механизмом 22 задвижки 23, изменяющей расход воды в классификатор 4;

подсистему коррекции подачи воды в мельницу 3 в зависимости от крупности слива классификатора 4, которая содержит датчик крупности 24, вторичный прибор 25, регулирующий прибор 26 с задатчиком 27, корректирующим установленную величину соотношения «руда-вода» задатчику 15 регулирующего прибора 14, управляющего исполнительным механизмом 16 задвижки 17, изменяющей расход воды в мельницу 3.

Управление процессом мокрого измельчения осуществляют, воздействуя на расход руды и воды в мельницу и расход воды в классификатор в автоматическом режиме. Каждая из подсистем стабилизации может работать самостоятельно, эффективность управления процессом при этом снижается максимальный эффект достигается при работе всех подсистем.

До перевода управления циклом мокрого измельчения в автоматический режим, технологический персонал рудо-обогатительной фабрики совместно с работниками рудо-испытательной лаборатории

определяет оптимальные значения регулируемых параметров (соотношения «руда-вода», плотности и крупности слива классификатора) и допустимые их отклонения от оптимальных значений (в т.ч. и для расхода руды). Затем оптимальные значения параметров заносятся в подсистемы стабилизации и корректировки процесса измельчения путем установки этих значений в задатчики 9, 15, 21 и 27 регуляторов 8, 14, 20 и 26. Зоны нечувствительности регуляторов выбираются исходя из допустимых пределов изменения регулируемых параметров.

При несанкционированном изменении расхода руды в мельницу сигнал от весоизмерителя 5 ленточного питателя 2 через вторичный прибор 6 и множитель сигналов 7 поступает в регулятор 8 с задатчиком 9 и сравнивается с заданным значением расхода руды. При наличии разбаланса (например, расход руды увеличился и его текущее значение превысило допустимое значение), регулятор 8 выдает сигнал в блок 10 управления двигателем 11, который изменит скорость движения ленточного питателя 2 в сторону уменьшения разбаланса (уменьшение его скорости). Скорость ленточного питателя 2 (его производительность) будет изменяться (уменьшаться) до момента отсутствия разбаланса на входе регулятора 8 (до момента восстановления заданной задатчиком 9 производительности). При изменении планового задания производительности, задатчиком 9 регулятора 8 устанавливается новое значение расхода руды.

Подсистема поддержания заданного соотношения «руда-вода» обеспечивает оптимальные условия измельчения для данного типа руды.

Подсистема работает следующим образом. Сигнал текущего значения расхода руды от датчика весоизмерителя 5 через вторичный прибор 6 и множитель сигналов 7 поступает на вход регулятора 14, на второй вход которого поступает через вторичный прибор 13 сигнал с расходомера 12 воды в мельницу. В зависимости от установленного задатчиком 15 соотношения «руда-вода» регулятор 14 посредством исполнительного механизма 16 изменит положение задвижки 17 таким образом, чтобы количество воды, подаваемой в мельницу, обеспечивало поддержание стабильной крупности пульпы на ее выходе.

При изменении физико-механических свойств руды, например, при переходе от твердых пород к мягким, произойдет переизмельчение руды в мельнице, в чем крупность руды в пульпе на выходе мельницы 3 уменьшится, а плотность увеличится. Аналогичные изменения произойдут в пульпе слива классификатора. Сигнал от датчика крупности 24 слива классификатора через вторичный прибор 25 поступит на вход регулятора 26 и в связи с возникшим разбалансом с сигналом задатчика 27 выработает сигнал корректировки заданного соотношения «руда-вода» в сторону восстановления заданной крупности.

При поддержании стабильной крупности на выходе мельницы 3, изменение типа руды скажется только на изменении плотности пульпы на сливе классификатора 4, вызванной изменением плотности (удельного веса) исходной руды, которая, в свою очередь, тесно связана с содержанием полезного компонента и вкрапленностью. Сигнал изменения плотности пульпы в сливе классификатора, измеряемой датчиком 18, через вторичный прибор 19 поступит на вход регулятора 20, где, после сравнения с заданным задатчиком 21 значением плотности, посредством исполнительного механизма 22 и задвижки 23 изменит количество воды, подаваемой в классификатор 4. В рассматриваемом случае, при переходе от твердых пород к мягким, когда плотность слива увеличилась, вода будет подаваться в классификатор 4 до тех пор, пока измеряемая плотность слива не будет соответствовать заданному значению.

Внедрение способа в производство позволит повысить точность и эффективность управления одностадийным циклом мокрого измельчения, обеспечивая питание последующих стадий обогащения пульпой стабильной плотности и стабильной крупности твердого в ней. Это, в свою очередь, позволит снизить потери железа и его колеблемость в конечном продукте РОФ-концентрате.

Недостаток предложенного способа общий со всеми ранее предложенными способами и системами автоматического управления I-й ст. ИК - отсутствие реакции на изменение содержания полезного компонента в исходной руде в результате чего колебания содержания общего и магнитного железа транзитом поступают на I ст. МС и далее.

Сотрудниками ООО «Рудпромгеофизика» предложен способ, направленный на снижение колеблемости железа в концентрате за счет поддержания постоянства магнитной составляющей в исходной руде,- «Способ автоматического управления одностадийным циклом мокрого измельчения магнетитовых руд» [7], рис 2.

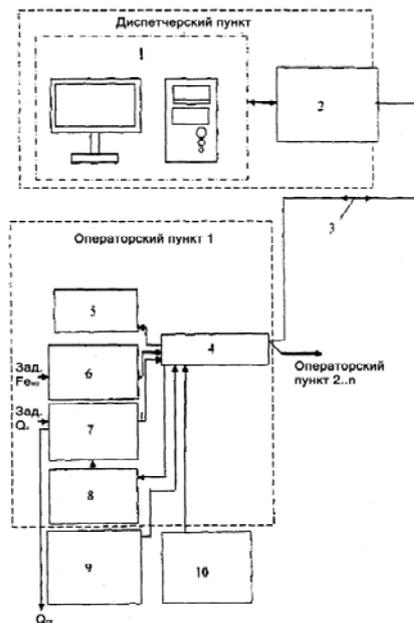


Рис. 2. Функциональная схема системы автоматического контроля и управления массовой долей магнитного железа в конвейерном рудопотоке

Суть способа, который включает стабилизацию на заданном (плановом) уровне расход руды, поступающей в шаровую мельницу, из заданным (плановым) содержанием магнитного железа, стабилизацию на заданном (расчетном) уровне соотношения «руда-вода» изменением количества воды подаваемой в мельницу, стабилизацию заданной (плановой) плотности слива классификатора подачей дополнительной воды в классификатор, новизна которого заключается в том, что дополнительно измеряют текущее значение магнитного железа в исходной руде, сравнивают его из заданным значением и корректируют заданную производительность исходной руды в зависимости от величины отклонения содержания магнитного железа в исходной руде от заданного - при отклонении текущего значения от заданного в сторону увеличения, заданную производительность руды уменьшают, а при его отклонении в сторону уменьшения - увеличивают. При этом, значение скорректированного расхода руды определяется из выражения 1

$$Q_{ск} = Q_3 \cdot F_{емз} / F_{емт}, \quad (1)$$

где $Q_{ск}, Q_3$ - соответственно скорректированное и заданное (плановое) значение производительности исходной руды, т/ч; $F_{емз}, F_{емт}$ - соответственно заданное (плановое) и текущее (измеренное) значение магнитного железа в исходной руде, %.

Для реализации предложенного способа на базе разработанного ООО «Рудпромгеофизика» комплексного устройства ДЖМ-К была разработана система автоматического контроля и управления массовой долей магнитного железа на конвейерном рудопотоке [8] (см. рис.2). Система включает установленные в диспетчерском пункте сервер 1, преобразователь интерфейса 2 и сеть 3, а так же концентратор 4, табло электронное 5, задатчик планового содержания магнитного железа 6, задатчик производительности рудопотока 7 и корректор задатчика 8, а так же установленные на конвейере датчик магнитной восприимчивости 9, и выходной блок весоизмерителя 10 (источники питания схемы не указаны).

Система работает следующим образом.

В начале каждой смены оператор-технолог устанавливает на задатчиках 6 и 7 плановую производительность на смену рудопотока, что поступает на вход мельницы первой стадии измельчения, а так же плановое содержание массовой доли магнитного железа в нем и включает систему в работу. Сервер 1 системы через преобразователь интерфейса 2, сети 3, концентратор 4 с заданной периодичностью опрашивает точки контроля и отображает на электронном табло 5 текущие значения производительности рудопотока и содержания в нем массовой доли магнитного железа, которые определяются по показаниям выходного блока весоизмерителя 10 и датчика магнитной восприимчивости 9. На основании этих данных корректор 8 корректирует работу задатчика производительности 7.

Техническими условиями на ведение технологического процесса устанавливается допустимый диапазон изменения содержания магнитного железа в исходной руде которая поступает на РОФ в условиях горно-обогатительного комплекса. Колебания этого показателя обуславливает колебания содержания железа в концентрате, что характеризует его качество. При выходе магнитного железа в исходной руде за пределы установленного диапазона сервер согласно формуле 1 определяет скорректированное значение производительности рудопотока, массовая доля магнитного железа в котором будет такой же как и при плановой производительности с плановым содержанием магнитного железа.

С увеличением содержания магнитного железа в контролируемом рудопотоке его производительность будет уменьшаться, а с уменьшением - увеличиваться. Так как из-за недостаточного усреднения исходной руды текущее содержание магнитного железа в рудопотоке отличается от средневзвешенного планового значения, производительность рудопотока будет также

изменяется как в сторону увеличения так и в сторону уменьшения планового значения, обеспечивая плановое производство при колебаниях массовой доли магнитного железа в руде, что поступает на вход секции обогащения.

Выводы и направления дальнейших исследований. Внедрение предложенной системы в производство позволит снизить колебание $Fe_{\text{магн}}$ на входе секции не менее, чем на 0,5%, что приведет к снижению колебаний железа в концентрате на 0,1% и будет способствовать повышению производительности агломашин на 0,28% и снижено расхода топлива на 1,2%.

Список литературы

1. Автоматизация технологических процессов на горнорудных предприятиях; Справочное пособие под ред. В.С. Виноградова – М., Недра, 1984, 167с.
2. **Процунто В.С.** Автоматизированные системы управления процессами обогатительных фабрик, - М., Недра, 1987, 253с.
3. **Улитенко К.Я., Маркин Р.П.** «Определение циркулирующей нагрузки измельчительных агрегатов в АСУТП», журнал «Обогащение руд», М. 2005, №2, стр. 42.
3. **Марюта А.Н.** и др., Автоматизация процесса обогащения руд, «Техніка», К., 1972г., стр. 110-114.
4. **Улитенко К.Я.** и др. Автоматизация процессов измельчения в обогащении и металлургии в настоящее время. Журнал «Цветные металлы», М., 2005, №10, стр 54
5. Спосіб автматичного 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.
6. Спосіб автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнювання магнетитових руд: патент 39942 / **Азарян А.А., Дрига В.В., Мордовін Д.М., Кучер В.Г., Цибулевський Ю.Є.**; власник патенту КТУ; завл. 07.07.2008; опубл. 25.03.2009, Бюл №6.
7. Система автматичного керування масової часткою магнітного заліза у конвеєрному рудопотоці: патент № 50668 / **Азарян А.А., Азарян В.А., Кучер В.Г., Мордовін Д.М., Цибулевський Ю.Є.**; власник патенту КТУ; заявл. 02.11.2009; опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12.

Рукопись поступила в редакцию 11.02.14

УДК 621.926: 34.16

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., А.В. ПИКИЛЬНЯК, аспирант
Криворожский национальный университет

ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ ПУЛЬПЫ В ПРОЦЕССЕ ФЛОТАЦИИ

Приведено описание метода, позволяющего эффективно управлять составом газовой фазы пульпы в процессе флотации с использованием динамических эффектов высокоэнергетического ультразвука.

Ключевые слова: фазированная решетка, ультразвук, флотация, пульпа, газовая фаза, управление.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Ультразвуковые колебания высокой интенсивности позволяют ускорить традиционные и реализовать новые процессы в жидких, твердых и газообразных средах. Эффективность таких процессов обусловлена возникновением нелинейных явлений при распространении высокоамплитудных колебаний, вызывающих кавитационные процессы, радиационное давление, микро- и макропотоки, приводящие к разрывам механических и химических связей, увеличению поверхностей и скорости взаимодействия, ускорению процессов массо- и теплопереноса.

Анализ исследований и публикаций. Флотация является наиболее полной и универсальной операцией обогащения минерального сырья. Использование ультразвука в технологии флотации связано с рядом специфических явлений. Среди этих явлений особое место занимает кавитация. Она выражается в появлении в жидкости газовых пузырьков (полостей), в которых происходят ионизация молекул и атомов, повышение давления (до нескольких тысяч атмосфер) и температуры (на сотни градусов). Установлено, что газовые (кавитационные) пузырьки легче образуются на границе жидкого с твердым, энергично воздействуя на поверхность последнего.