



ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора
Кузичкина Олега Рудольфовича
на диссертационную работу Баженова Ивана Николаевича
"Метод и средства резонансного индукционного контроля массовой доли железа
в магнетитовой руде", представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля
природной среды, веществ, материалов и изделий

1. Актуальность темы диссертации

Контроль относительного содержания железа в рудной массе необходим как при оценке качества руды в природных условиях, так и при технологическом процессе ее обогащения на горнодобывающих предприятиях. Как правило, такой контроль основан на индукционном методе измерения магнитной восприимчивости рудосодержащей массы, реализуемом посредством ее намагничивания низкочастотным электромагнитным полем, формируемым генераторной катушкой индуктивности, и измерении амплитудно-фазовых параметров напряжения на приемной катушке. Использование для намагничивания рудной массы переменного тока позволяет исключить влияние постоянного геомагнитного поля Земли на результаты измерения. Точность контроля зависит от изменения расстояния до поверхности руды, а также от инструментальной погрешности измерения напряжения малого уровня, получаемого на измерительной катушке, и дисперсии магнитных свойств, обусловленных наличием ферромагнитных минералов.

Существующий метод контроля массовой доли железа в магнетитовой руде основан на возбуждении электромагнитного поля в объеме исследуемой среды и измерении относительного изменения магнитной составляющей напряженности этого поля в зависимости от изменения магнитных свойств контролируемого объекта.

В природных условиях к сильномагнитным средам относятся главным образом железные руды преимущественно магнетитового состава. Трудности интерпретации в этом случае возникают из-за существенно нелинейной зависимости приращения ЭДС от магнитной восприимчивости. На точность измерения магнитных свойств магнетитовой руды влияет методическая погрешность, обусловленная волнообразной зависимостью чувствительности прибора от величины зазора между зондом и поверхностью исследуемой среды, а также нестабильность результатов контроля содержания железа в рудной массе из-за влияния помех от электрооборудования при работе прибора контроля в условиях производства. В этой связи необходимо разработать научно-методический инструментарий, который позволит, во-первых, ослабить или скомпенсировать влияние зазора между зондом и рудной массой на результаты количественного контроля и, во-вторых, повысить амплитуду сигнала на измерительной катушке для снижения инструментальной погрешности ее измерения.

Представленный в диссертации анализ состояния вопроса по обеим задачам убедительно иллюстрирует, что применяемым в настоящее время средствам кон-

троля магнитной восприимчивости присуща погрешность измерения, обусловленная зависимостью чувствительности устройств от величины зазора между зондом и исследуемой средой. Окончательное определение массовой доли железа осуществляется по градуировочным графикам с учетом поправочных коэффициентов и предполагает задействование человека, что существенно снижает оперативность проведения контроля.

В этой связи оппонируем работу, направленную на повышение точности измерений и чувствительности аппаратуры, применяемой для оценки массовой доли железа в технологическом процессе переработки и обогащения магнетитовой руды, является, несомненно, актуальной.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

На основании изучения материалов диссертации мной проведен анализ степени обоснованности представленных в работе положений, выводов и рекомендаций. Обобщая информацию по каждому из них, и анализируя материал в соответствии с логикой его рассмотрения в диссертации, отмечаю следующее.

1. В работе на основе представленной классификации методов количественного анализа сделан вывод о том, что химические методы являются эталонными и применяются в лабораторных условиях, однако во многих случаях они не отвечают возросшим требованиям к оперативности и автоматизации процесса контроля, присущим физическим методам анализа магнетитовых руд. Для количественного контроля магнетитовых руд целесообразно использовать индукционный метод, к достоинствам которого относятся оперативность проведения контроля массовой доли железа, низкая стоимость анализа и более низкие требования к квалификации обслуживающего персонала. При этом недостатком метода является низкая точность измерения по сравнению с методами химического анализа.

Автором проанализированы характеристики технических средств, в основе работы которых лежит индукционный метод (РИМВ-3, ПИМВ-М, МКС-4В и др.). Результаты проведенного анализа позволили соискателю сделать вывод, что приборы калибруют для идеализированных условий, когда измерительная катушка контактирует с гладкой плоскостью однородной магнитной среды. В процессе измерения неровной рудной поверхности, несомненно, возникает субъективная погрешность, обусловленная неправильным размещением зонда. В связи с этим рассмотренные средства измерения имеют общий недостаток, связанный с ограниченной точностью контроля, причем типовая погрешность измерения магнитных параметров в известных устройствах разного типа составляет не менее 3–10 %.

Обоснованность данного вывода с учетом выше изложенного не вызывает сомнения.

2. На основе проведенного анализа физических основ индукционных методов измерения магнитной восприимчивости установлено, что количественная оценка содержания железа в магнетитовых рудах реализуется индукционным косвенным методом измерения, точность которого ограничивается влиянием геометрического фактора, зависящего от конструкции измерительного зонда, взаимного расположения генераторной и приемной катушек в зонде, а также от

величины зазора между зондом и поверхностью контролируемой среды. В результате проведенного анализа соискателем разработана модель измерительного зонда с различным расположением генераторной и приемной катушек, позволяющая оценить их взаимное влияние. Согласно результатам анализа для улучшения характеристик аппаратуры контроля необходимо, во-первых, повышать чувствительность измерительных зондов и, во-вторых, принимать меры для компенсации влияния геометрического фактора на результаты измерения магнитных параметров руды.

3. Важным результатом диссертационной работы является предложенный автором метод резонансного индукционного контроля массовой доли железа в магнетитовой руде, отличающийся тем, что для повышения ЭДС на приемной катушке используется эффект резонанса, а для устранения недостатка, связанного с погрешностью из-за нелинейной характеристики геометрического фактора, предложено использовать автоматическую коррекцию показаний посредством применения ультразвукового датчика расстояния.

Для обоснования эффективности предложенных решений соискателем произведены экспериментальные исследования, позволившие установить следующее:

1) параллельное расположение генераторной и приемной катушек в составе зонда позволяет примерно в 1,5 раза увеличить чувствительность к изменению содержания железа;

2) применение резонансного режима работы приемной катушки индуктивности позволяет примерно в 8 раз повысить амплитуду измеряемого сигнала, а абсолютные значения чувствительности увеличить примерно в 10 раз.

Значение основной погрешности измерения массовой доли железа в магнетитовой руде на основе предложенного метода составило 2,9%. Необходимо отметить, что указанные в работе составляющие инструментальной погрешности зависят от используемых средств измерения и в рабочем диапазоне контроля не зависят от величины геометрического фактора.

С учетом вышеизложенного совокупность технических решений, представленных автором как усовершенствованный метод резонансного индукционного контроля массовой доли железа в магнетитовой руде, и, позволяющие при сравнительной простоте реализации обеспечить универсальность высокочувствительного контроля рудной массы, можно считать обоснованными.

4. Недостатками существующих средств контроля магнитной восприимчивости руды является невысокая чувствительность, обусловленная слабым изменением амплитуды сигналов на приемной и компенсационных катушках при изменении магнитной восприимчивости исследуемой среды, а также ограниченный диапазон допустимых отклонений высоты размещения зонда над поверхностью исследуемой среды. На основании предложенного метода автором разработаны приборы резонансного индукционного контроля массовой доли железа в рудной массе, новизна которых подтверждена патентом на полезную модель № 163337 и патентом на изобретение № 2632265. Для оценки эффективности предложенных технических решений было проведено имитационное моделирование устройства на ПЭВМ, в результате которого

установлено, что применение резонансного режима индукционного зонда позволяет увеличить амплитуду измеряемого сигнала до 35 раз.

Соискателем проведена апробация разработанных предложений на базе НПАО "Научприбор" (г. Орел). С учетом изложенного научный результат, представленный в п. 4 выводов по диссертации, заключающийся в том, что разработаны приборы индукционного контроля качества руды с дополнительными компенсационными катушками, можно считать обоснованным.

5. Для реализации метода резонансного контроля массовой доли железа в предложенных технических решениях разработан соответствующий алгоритм (рис. 4.2). Согласно которому корректировка приращения напряжения, полученного в процессе контроля, производится за счет изменения масштабирующего коэффициента. Последний формируется в соответствии с блок-схемой алгоритма калибровки устройства контроля массовой доли железа в магнетитовой руде (рис. 4.3). Следует отметить, что получение результатов контроля качества рудной массы реализуется с учетом показаний ультразвукового датчика, формирующего импульсы разной длительности в зависимости от величины зазора между измерительным зондом и поверхностью руды для учета геометрического фактора.

При выполнении операций в соответствии с предложенными алгоритмами (рис. 4.2, 4.3) микроконтроллер вычислительного блока при расчете кажущейся магнитной восприимчивости руды за счет масштабирующих коэффициентов будет автоматически учитывать влияние геометрических размеров зонда и неровностей исследуемого образца. Вследствие этого субъективная погрешность, связанная с выбором конкретных значений поправочных коэффициентов из руководства по эксплуатации средства контроля, сводится к нулю. Кроме этого при реализации алгоритмов практически исключается методическая погрешность, связанная с необходимостью точного размещения зонда над исследуемой средой на определенном расстоянии, что, в свою очередь, упрощает процесс применения устройства, реализующего предложенный метод резонансного контроля качества рудной массы.

Алгоритм резонансного индукционного контроля массовой доли железа в магнетитовой руде, позволяющий повысить достоверность результатов такого контроля за счет применения микропроцессорной обработки данных и формирования интегральной оценки, характеризующей количественный состав железа в рудной массе, имеет практическую ценность, подтвержденную актом внедрения в АО "НПФ "Спецмаш" (г. Санкт-Петербург).

Таким образом, данное положение, представленное в п. 5 выводов по диссертации, также может быть признано обоснованным.

3. Замечания по диссертации и ее автореферату:

1. В диссертации и автореферате не показана корреляционная зависимость между магнитной восприимчивостью и массовой долей железа в исследуемой руде.

2. При расчете относительной погрешности прибора (стр. 107) не учтено влияние температуры и влажности на колебательные контуры индукционного зонда при измерениях.

3. В диссертации и автореферате отсутствует обоснование объема выборки (репрезентативность) экземпляров проб руды.

4. В диссертации соискателем не учтено влияние металлической вагонетки (кузова автомобиля) на точность измерения и чувствительность устройства контроля.

5. В диссертации не указаны требования к стабильности параметров применяемых компонентов индукционных датчиков для обеспечения необходимой точности установки частоты резонанса.

6. В работе отсутствует методика проведения количественного контроля магнетитовой руды, разработанными средствами измерения. Автор ограничивается лишь порядком настройки прибора при контроле руды с разным минералогическим составом (стр. 121).

4. Выводы

Автореферат работы отражает основные положения диссертации и полностью соответствует ее содержанию.

Диссертационная работа Баженова И. Н. полностью соответствует критериям пунктов 9-14 "Положения о присуждении ученых степеней" (утверждено Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Официальный оппонент
профессор кафедры "Управление и контроль в технических системах" Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых", доктор технических наук (05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий)

"18" апреля 2018 года

Кузичкин Олег Рудольфович

Подпись Кузичкина О. Р. заверяю

Ученый секретарь

Полулях Ольга Николаевна

Муромский институт (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых", <http://www.mivlgu.ru>
602264, Владимирская область, г. Муром, ул. Орловская, д.23.
Тел. 8(49234) 77-1-01
E-mail: old@mivlgu.ru

