

жливість збереження окремого виміру в необхідній категорії, а також за назвою проби. Серед додаткових функцій пристрою є режим автоматичного збереження результату і режим усереднення, завдяки комбінації яких значно полегшується робота з пристроєм.

### **Висновки.**

Від існуючих пристроїв оперативного аналізу вмісту корисного компонента в залізорудній сировині ДЖМЗ-М1 вирізняється точністю та швидкістю вимірювання. Немаловажною характеристикою є також мала кількість сировини, необхідної для аналізу. Після підготовки пристрою для роботи (калібрування) ним достатньо легко користуватися, за рахунок цього зникає потреба у спеціалізованій підготовці персоналу.

УДК 65.012.011.56:622.7.09

А.А. АЗАРЯН, д-р техн. наук, проф., В.А. АЗАРЯН, канд. техн. наук, доц.,  
В.В. ДРИГА інженер-программіст, Криворожский технічний університет

## **СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ НА КОНВЕЙЕРЕ**

В статті приведено аналіз існуючих систем неперервного контролю якості залізорудного сировини. Приведено структуру інформаційно-виміральної системи неперервного контролю якості залізистих кварцитів по масовому вмісту заліза магнетитового ДЖМ-К, використання якої в умовах рудообогатительної фабрики дозволяє знизити затрати на переробку руди і підвищить ефективність процесу обогащення.

В статті наведено аналіз існуючих систем безперервного контролю якості залізорудної сировини. Наведено структуру інформаційно-виміральної системи (ІВС) безперервного контролю якості залізистих кварцитів по масовому вмісту заліза магнетитового ДЖМ-К, використання якої в умовах рудозбагачувальної фабрики дозволяє знизити витрати на переробку руди та підвищити ефективність процесу збагачення.

**Ключевые слова.** Многоканальная информационно-измерительная система (ИИС) непрерывного контроля качества магнетитовых руд, содержание железа магнетитового, магнитометрический способ, магнитная проницаемость, восприимчивость, конвейерные весы, мешающие факторы, точность.

Для автоматизации процесса шарового измельчения и классификации необходимо выдержать заданные значения загрузки мельницы рудой, плотности пульпы в мельнице и на сливе классификатора. Оптимизация процесса измельчения позволяет повысить выход концентрата и снижает затраты на его производство за счет стабилизации качества исходного сырья, поступающего на обогащение. Обеспечить выполнение данных требований возможно при наличии информации о качестве исходной руды, поступающей на вход комплекса мельница-классификатор.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Необходимость применения систем контроля качества на конвейере обоснована нестабильностью потока руды по весовым и качественным показателям. Оперативный контроль качества минерального сырья в процессе измельчения исходной руды позволяет оператору получать необходимую информацию о потоке руды и управлять режимом работы комплекса мельница-классификатор в реальном масштабе времени.

Получить требуемую информацию можно с помощью информационно-измерительных систем (ИИС), принцип работы которых основан на *магнитометрическом способе* контроля, суть которого состоит в зависимости магнитных свойств рудного материала от содержания в нем магнетита. Разработка ИИС для технологического контроля качества и управления процессом обогащения – актуальная научно-техническая задача.

**Анализ публикаций.** Анализ существующих систем, основанных на *магнитометрическом способе*, показал, что точность непрерывного контроля значительно уступает точности химического анализа. В существующих устройствах учитывались один или несколько мешающих факторов, при этом оставались неучтенными другие факторы, снижающие точность контроля (изменение подачи и толщины слоя руды, изменение формы, смещения потока от оси конвейера, расстояния до датчика, гранулометрический состав, насыпная плотность и влажность рудного материала, температура).

Специалистами Свердловского горного института для контроля содержания магнетита для исключения фактора изменения толщины слоя разработано устройство, не требующее коррекции показаний, если слой руды на ленте не меньше определенного уровня (100–150 мм) [1]. Нечувствительность к изменению количества руды достигается локализацией магнитного поля датчика в ограниченном потоке руды, который составляет небольшую часть всего потока на ленте и всегда меньше его минимально возможного объема при нормальной нагрузке.

За счет большой неоднородности создаваемого магнитного поля датчик работает в режиме, который классифицирован нами как «режим насыщения». Основным недостатком данного режима является значительное уменьшение информационного слоя рудного потока, из-за чего снижается достоверность данных системы.

Кроме того, из-за отсутствия измерения массы рудного материала сказывается влияние насыпной плотности (коэффициента уплотнения) материала на показания устройства. В зависимости от того, насколько руда уплотнена, изменяется количество материала, находящегося в измерительном объеме датчика, что приводит к нестабильности его выходного сигнала и снижению точности.

Примером системы непрерывного контроля, в которой учтен фактор влияния изменения толщины слоя рудного потока, является система автоматического контроля качества железорудного сырья в конвейерных потоках (СКРП), разработанная ООО ИПП «Уралрудоавтоматика» [2]. В индукцион-

ных конвейерных преобразователях МВ-5 системы установлены несколько катушек индуктивности и используется оригинальный алгоритм определения массовой доли железа. За счет этого при толщине слоя руды выше некоторого минимально допустимого уровня результаты измерения стабилизируются (причем, как и в предыдущем случае, без использования сигнала массы рудного материала на ленте).

Но, как указывает производитель данной системы, в связи со сложностью градуировки в условиях предприятия (различные сорта и виды поступающего рудного материала) процесс ввода системы в эксплуатацию занимает не менее 1 года [2].

Вместе с тем при использовании сигналов от нескольких катушек появляются другие факторы, снижающие точность контроля: изменение формы рудного потока, его смещение в поперечном направлении относительно оси конвейера или изменение расстояния от потока до датчика. Информацию о влиянии указанных факторов на точность показаний содержания железа разработчик не сообщает.

Система непрерывного контроля содержания магнетита, в которой датчик магнитной восприимчивости работает в режиме «без насыщения» и используется сигнал конвейерных весов, является установка для контроля содержания магнетита в руде УКМСМ с уравновешенной мостовой схемой измерения, приведенной на рис. 1. Разбаланс моста компенсируется изменением положения движка реохорда  $R_p$ . Таким образом, в схеме осуществляется операция деления  $Z1/Z2 = \mu/m$ , где  $\mu$  – магнитная проницаемость, а  $m$  – масса руды в измерительном объеме. [3].

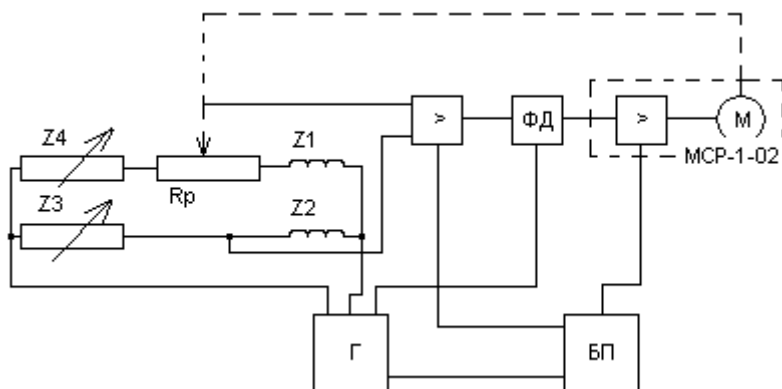


Рис. 1. Схема устройства контроля массового содержания магнетита (УКМСМ) с мостовой схемой измерения. Z1 - индуктивный датчик магнитной проницаемости руды, Z2 - индуктивный преобразователь массы руды; Z3, Z4 - резисторы; Rp – реохорд, механически связанный с реверсивным двигателем моста М; БП – стабилизированный блок питания; ФД – фазовый детектор; Г – электронный генератор, питающий измерительный мост напряжением с частотой 1 кГц

В данном случае суть режима «без насыщения» состоит в том, что выходной сигнал датчика прямо пропорционален как магнитной восприимчивости рудного материала, так и его количеству (массе), поэтому для полного исключения влияния изменения толщины слоя рудопотока в схему измерения вводят дополнительный сигнал коррекции по насыпной массе.

Благодаря учету дополнительного сигнала конвейерных весов авторам устройства УКМСМ удалось снизить погрешность, связанную с неравномерностью толщины слоя руды на конвейерной ленте.

Очевидным недостатком системы является наличие электромеханического реохорда, что вносит в измерения дополнительную погрешность. В настоящее время необходимую операцию деления  $\mu/m$  (нормирования магнитной проницаемости (восприимчивости) по массе материала) можно выполнить программно с помощью средств вычислительной техники.

**Постановка задачи.** Для повышения эффективности процесса обогащения магнетитовых руд необходимо было решить ряд задач: провести исследование факторов, снижающих точность оперативного контроля качества магнетитовых руд [4], разработать первичный преобразователь (датчик магнитной восприимчивости) и ИИС, позволяющую получать информацию о качестве рудного потока в режиме реального времени с учетом основных мешающих факторов.

**Изложение материала и результаты.** Специалистами Проблемной лаборатории министерства промышленно политики Украины при Криворожском техническом университете была разработана многоканальная ИИС непрерывного контроля качества железистых кварцитов на конвейере (ДЖМ-К).

Исходными данными для расчетов являются текущие показания датчика магнитной восприимчивости и конвейерных весов. В режиме работы «без насыщения» показания датчика магнитной восприимчивости прямо пропорционально зависят от количества (массы) магнетита в зоне измерения. Для получения массового содержания железа магнетитового достаточно разделить показания датчика магнитной восприимчивости на общую массу (погонную нагрузку) рудного материала на конвейере. Но из-за того, что датчик магнитной восприимчивости при загрузке конвейера, близкой к максимальной, может входить в режим частичного насыщения, возможна ситуация, когда при увеличении толщины слоя рудного материала на конвейере рост сигнала датчика магнитной восприимчивости замедляется, что может привести к занижению реальных показаний.

Для исключения этой ситуации в программном обеспечении используется двойной пересчет данных. Расчет массового содержания железа магнетитового ( $Fe$ ) выполняется по формулам (1, 2).

$$V_H = f_1(V), \quad (1)$$

$$Fe = \frac{f_2(\chi)}{V_H}, \quad (2)$$

где  $V$  – исходные показания погонной нагрузки, кг/м;  $V_H$  – нормализованная (приведенная) погонная нагрузка;  $\chi$  – показания датчика магнитной восприимчивости.

Поскольку функции  $f_1$  и  $f_2$  различны для различных датчиков магнитной восприимчивости, в программе используются таблицы настройки (градуировочные таблицы).

Таблицы настройки строятся отдельно для каждой точки контроля. Таблица функции  $f_1$  формируется при переменной погонной нагрузке и постоянном содержании железа магнетитового. Таблица функции  $f_2$  формируется при переменном содержании железа магнетитового, при ее формировании учитывается функция  $f_1$ .

На основании данных из указанных таблиц настройки методом наименьших квадратов рассчитываются коэффициенты аппроксимирующих полиномов для функций  $f_1$  и  $f_2$ . Программное обеспечение позволяет задавать произвольную степень полинома, рекомендуется использовать кубические полиномы (третьей степени). На этом градуировка точки контроля завершается.

Далее, в режиме реального времени на основании текущих значений магнитной восприимчивости и погонной нагрузки по формулам (1, 2) рассчитывается массовое содержание железа магнетитового, которое вместе со значением погонной нагрузки сохраняются в базе данных, что обеспечивает в дальнейшем формирование подробной статистики.

Программное обеспечение состоит из двух автономных программ – серверного модуля и GUI - модуля. Серверный модуль осуществляет опрос датчиков, подключенных к сети, принимает данные, сохраняет их в базе данных и создает http-сервер для передачи данных по протоколу TCP/IP.

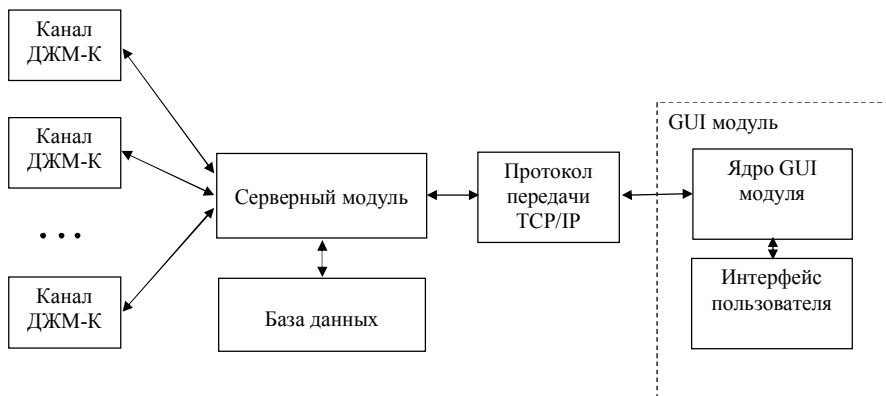


Рис. 2. Структура программного обеспечения ДЖМ-К

Соответствие показаний системы ДЖМ-К и данных химического анализа по содержанию железа магнетитового приведено на рис. 3. Среднеквадратичное отклонение составило 0,62 % абсолютных единиц.

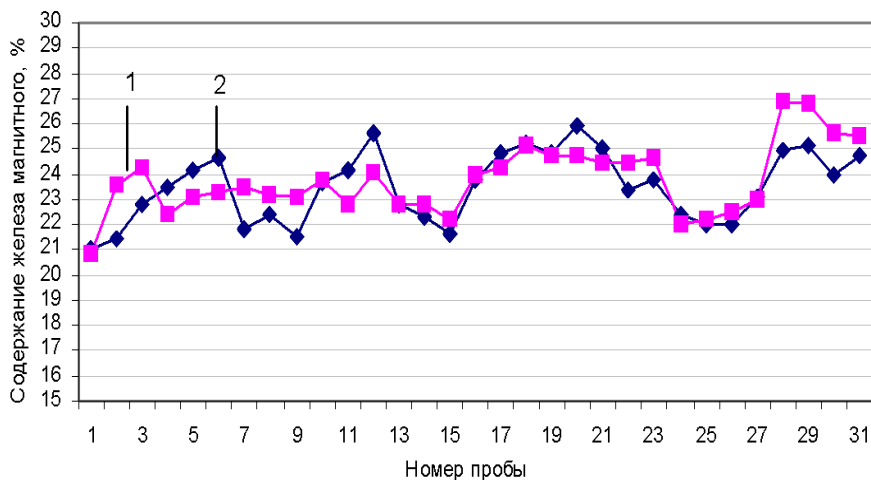


Рис. 3. Сопоставление показаний ДЖМ-К и данных химического анализа проб, отобранных на выходе мельницы. 1 - показания ДЖМ-К, 2 - данные хим. анализа

## Выводы

1. Эксплуатация системы ДЖМ-К в условиях РОФ-1 Горного департамента ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» в течение четырех лет подтвердила ее надёжность и работоспособность.

2. Точность контроля удовлетворяет требованиям технологии. Среднеквадратичное отклонение показаний системы от данных химического анализа не превышает 0.7 % абсолютных единиц, влияние основных мешающих факторов минимально.

3. Достоверность данных системы ДЖМ-К позволяет управлять процессом измельчения и повышать общую эффективность процесса обогащения.

## Список литературы

1. **Жеребцов А.С., Троп А.Е., Зобнин Б.Б.** К измерению содержания магнетита в потоке руды. –«Известия вузов. Горный журнал». –1974. –№7.

2. Система автоматического контроля качества железорудного сырья в конвейерных потоках (СКРП), Интернет-сайт ООО ИПП «Уралрудоавтоматика». <http://uralrudoavtomatika.ru/?p=148>

3. **Белявский Ю.В., Старцев Н.В.** Индуктивный датчик с равномерным маг-

нитным полем. – «Известия вузов. Горный журнал». –1971. –№4.

4. **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.

УДК 658.562.64:622.3

А.А. АЗАРЯН, д-р техн. наук, проф., Г.Н. ЛИСОВОЙ ст. науч. сотр., В.Е.ВАСИЛЕНКО ст. науч. сотр., А.А. ТРАЧУК, канд. техн. наук, доц., Криворожский технический университет

### **ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА В ПОРОШКОВЫХ ПРОБАХ РУДНИЧНЫМИ РАДИОМЕТРАМИ ПАКС**

В статье приведены результаты экспериментов по определению величины аппаратурной погрешности и ее составляющих, оценены погрешности измерения содержания железа в порошковых пробах и показана связь погрешности с приемами подготовки проб к облучению и геометрией облучения.

У статті наведені результати експериментів по визначенню величини апаратної погрешності і її складових, оцінені погрешності виміру змісту заліза в порошкових пробах і показаний зв'язок погрешностей із прийомами підготовки проб до опромінення й геометрією опромінення.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** В настоящее время на горнорудных предприятиях Украины, в частности Кривбасса, для экспресс-анализа железных руд и продуктов их переработки на содержание железа, широко применяются рудничные радиометры типа ПАКС, разработанные в проблемно-отраслевой лаборатории Министерства промышленности политики Украины при Криворожском техническом университете.

Однако, в технической документации на радиометры некоторые вопросы, касающиеся погрешностей измерений, способов подготовки проб к измерениям и приемов, обеспечивающих минимальные погрешности измерений освещены в общем виде.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментов по определению величины аппаратурной погрешности и ее составляющих, оценены погрешности измерения содержания железа в порошковых пробах (класс крупности -1 мм) и показана связь погрешностей с приемами подготовки проб к облучению и геометрией облучения.

**Анализ публикаций.** В настоящее время опубликованы много научно-технического материала по способу использования рассеянного и прошедшего гамма-излучения для оперативного контроля и управления качеством минерального сырья [2..5].