

где $F(c)$ – интегральная функция распределения содержания железа в руде после шихтовки.

Если закон распределения содержания железа в руде после шихтовки является нормальным с параметрами математическим ожиданием $M[C] = c_0$ и среднеквадратическим отклонением σ , формула (42) принимает вид

$$P(\underline{c} < C < \bar{c}) = \Phi\left(\frac{\bar{c} - c_0}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\underline{c} - c_0}{\sigma}\right), \quad (43)$$

где $\Phi(x)$ – функция Лапласа.

Для примера, рассмотренного выше, имеем $c_0 = 0,35$, $\sigma = 0,037$. Принимая, что необходимый разброс содержания железа задается величинами $\underline{c} = 0,3$, $\bar{c} = 0,4$, по формуле (43) находим

$$P(0,3 < C < 0,4) = \Phi\left(\frac{0,4 - 0,35}{0,037}\right) - \Phi\left(\frac{0,3 - 0,35}{0,037}\right) = 2\Phi(1,35) = 2 \cdot 0,4115 = 0,823. \quad (44)$$

Выводы.

1. Современная теория управления позволяет создать модель системы управления качеством в рудопотоке карьера.

2. Пример решения задачи формирования рудопотока карьера показал, что при нормальном законе распределения, который определяется содержанием железа в руде после усреднения при добыче из четырех забоев, равным 0,35 и среднеквадратическим отклонением 0,037, вероятность того, что содержание железа в руде после шихтовки будет находиться в пределах (0,3-0,4) составляет $P = 0,823$.

Список литературы

1. Арсеньев С.Я., Прудовский А.Д. Внутрикарьерное усреднение железных руд. – М.: Недра, 1980.

2. Бастан П.П., Костина Н.К. Смешивание и сортировка руд. – М.: Недра, 1990.

3. Бызов В.Ф. Управление качеством продукции карьеров. – М.: Недра, 1991.

4. Кац М.Д. Математические основы теории управления: учебное пособие для практической и самостоятельной работы / М.Д. Кац – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. -107 с.

УДК 622.751

В.В. ДРИГА, к.т.н.

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАКЛАДНОГО ИНДУКТИВНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ

Работа посвящена повышению точности контроля качества ферромагнитных руд с применением индуктивных датчиков за счет компенсации влияния изменения уровня руды на конвейерной ленте.

Робота присвячена підвищенню точності контролю якості ферромагнітних руд із застосуванням індуктивних датчиків за рахунок компенсації впливу зміни рівня руди на конвеєрній стрічці.

The work is dedicated to improving the accuracy of the quality control of ferromagnetic ores using inductive sensors due to the compensation effect of changes in the level of ore on the conveyor belt.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Разработка индуктивных датчиков для определения содержания ферромагнитной фракции в рудах титаномагнетитовых и магнетитовых месторождений началась еще в 40-х годах прошлого столетия. При этом контроль качества железных руд необходимо производить во время всего производственного цикла – от разведочных и взрывных скважин до получения продуктов обогащения и концентрата. Это обеспечивает возможность автоматического управления всем производственным процессом получения железорудного концентрата. Кроме того применение этих датчиков в устройствах автоматики поможет выделить некондиционную руду из общего потока, что повышает эффективность процесса обогащения.

Анализ исследований и публикаций. Теоретическими исследованиями характеристик индуктивных датчиков и разработкой их конструкций занимались научные сотрудники Днепропетровского горного института – А.Н. Марюта, Н.И.Твердоступ; Криворожского горнорудного института - В.П. Хорольский; Ленинградского горного института – Ю.И.Кудрявцев; Свердловского горного института – О.Н. Молчанов и др. [1-3]. В основном эти исследования были направлены на повышение точности измерения параметров индуктивного датчика при внесении пробы в зону измерения. При этом ставилась задача аппаратурной компенсации влияния мешающих факторов – плотности и влажности материала, высоты слоя и его гранулометрического состава.

Постановка задачи. Выходной сигнал ИПП (индуктивного первичного преобразователя) зависит от изменения высоты слоя руды, который находится в измерительной зоне индуктивного датчика, что снижает точность контроля. До разработки приведенной модели были проведены исследования ИПП, при которых масса руды не учитывалась, а сигнал индуктивного датчика корректировался только по высоте слоя руды. На конвейере для определения *толщины слоя рудного потока (H)* был ис-

пользован *ультразвуковой датчик расстояния UC500-30GM-E7R2-V15* производства «Pepperl+Fuchs», установленный над конвейерной лентой на расстоянии около 0.5 м. Информация от датчика поступала на верхний уровень в цифровом виде, где вычислялось значение толщины слоя рудного потока. При этом точность контроля качества руды оказалась ниже допустимых технологических требований. Задачей данной работы является разработка математической модели накладного индуктивного датчика для контроля качества железорудного сырья без применения датчиков высоты слоя руды на конвейере.

Изложение материала и результаты.

При использовании *накладных* ИПП в виде плоских катушек различной формы из-за большой неравномерности создаваемого магнитного поля, когда напряженность магнитного поля по мере заполнения зоны контроля рудой, а следовательно, и чувствительность ИПП, могут изменяться в несколько раз – следует рассматривать режим работы *с частичным насыщением*, в котором сигнал SX еще зависит от массы m , но уже не прямо пропорционально.

Для проведения исследований была изготовлена физическая модель ИПП - *плоская накладная катушка* в виде прямоугольной вытянутой рамки, расположенной внизу, поперек рудного потока (рис. 1).

Модель имитирует реальные условия контроля на конвейере и выполнена в масштабе, уменьшенном в 10 раз. Расстояние от проводников до рудного потока выбрано равным максимально возможной толщине слоя материала, а расстояние между длинными проводниками приблизительно в 4 раза превышает расстояние до потока. Ширина ИПП выбрана превышающей ширину потока приблизительно в 2 раза.

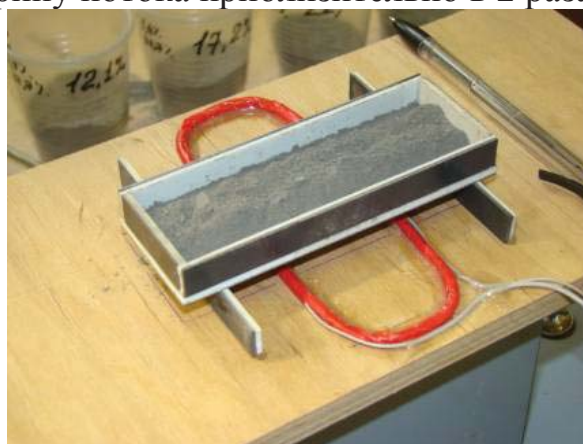


Рис. 1. Физическая модель ИПП: накладная плоская катушка в виде вытянутой рамки (конвейерный вариант)

Для эксперимента использованы тонко измельченная исходная магнетитовая руда с содержанием $Fe_{\text{магн}}$ 27.7% (высушенная пульпа, которая поступает с мельницы на магнитный сепаратор) и хвосты магнитной сепарации с содержанием $Fe_{\text{магн}}$ 1.4%, крупностью около 0.1 мм, из которых

путем разбавления получен ряд проб с равномерным шагом: 1.4%, 6.7%, 12.1%, 17.2%, 22.4% и 27.7%.

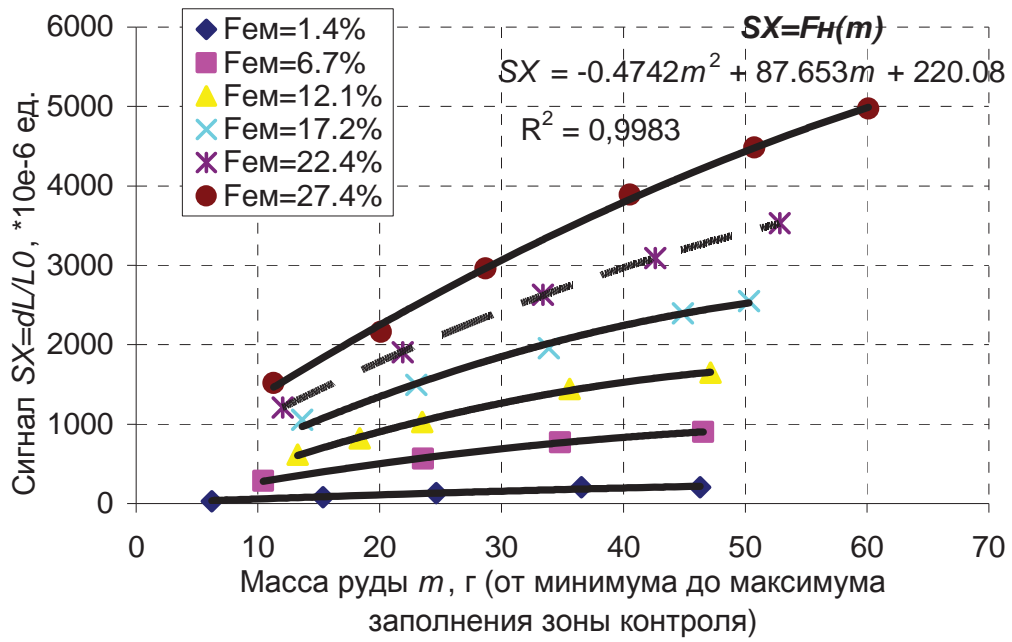
На данных пробах проведены эксперименты с последовательным заполнением зоны контроля рудным материалом, начиная приблизительно с 1/5 части и до полного заполнения. При этом регистрировались масса руды m и величина сигнала SX .

Была разработана математическая модель (1), учитывающая нелинейность зависимости SX от m в режиме частичного насыщения ИПП (рис.2):

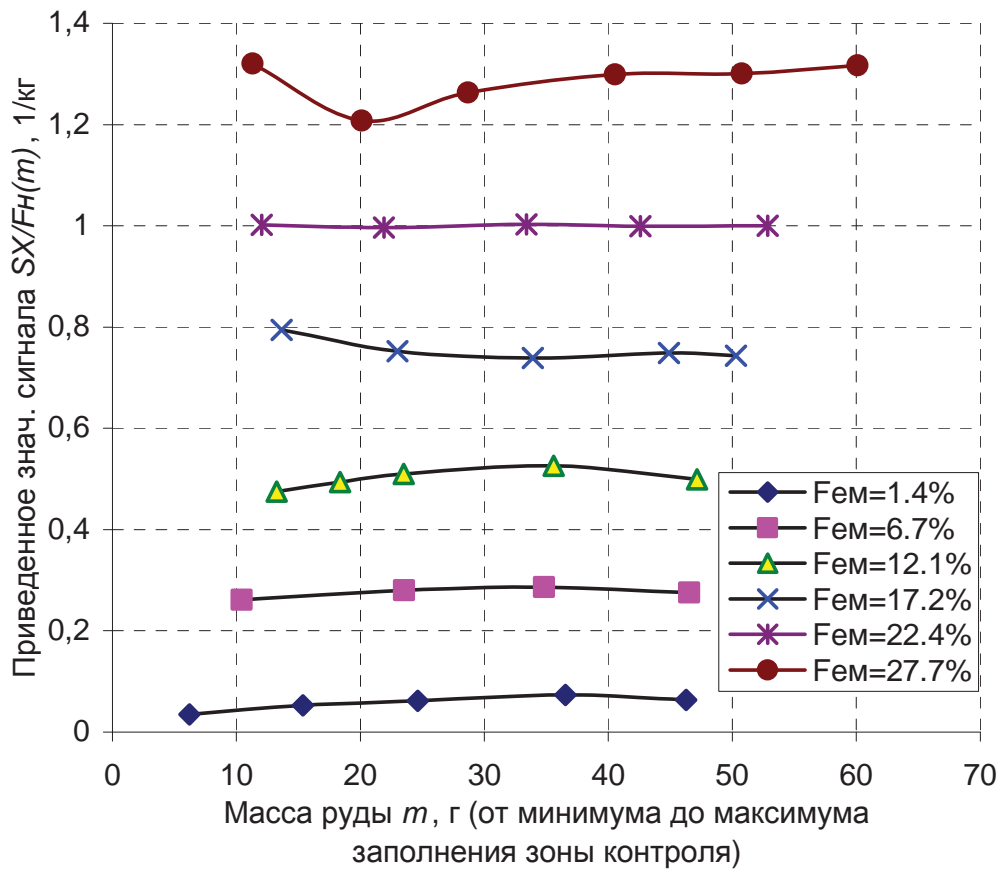
$$Fe_{\text{магн}} = F\left(\frac{SX}{F_n(m)}\right). \quad (1)$$

Суть состоит в том, что вместо использования массы m для приведения сигнала SX и получения параметра SX/m , независимого от степени заполнения, используется некоторая *нормирующая функция* $F_n(m)$, выражающая связь между сигналом SX и массой m . Данная функция находится эмпирически при некотором постоянном значении содержания $Fe_{\text{магн}}$, которое выбирается приблизительно в середине рабочего диапазона.

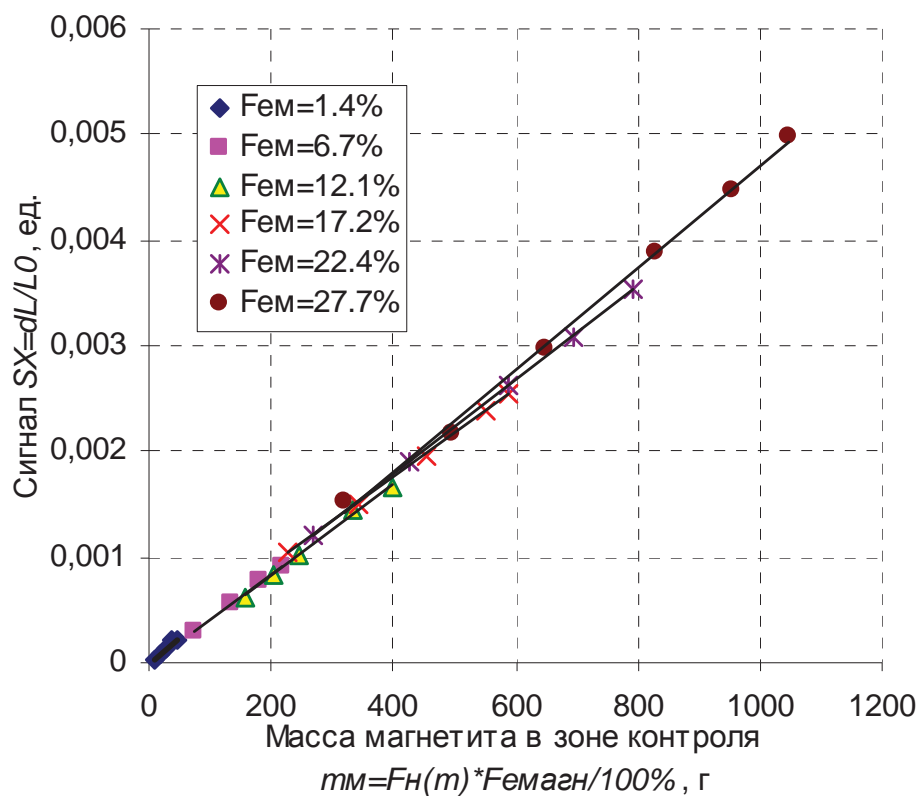
Например, на рис. 2,а выбрано среднее содержание $Fe_{\text{магн}}$ 22.4%, варьирована масса рудного материала в зоне контроля, и при этом методом наименьших квадратов получена нормирующая функция $F_n(m) = -0.4742m^2 + 87.653m + 220.08$, которая подставляется в существующую модель вместо массы m .



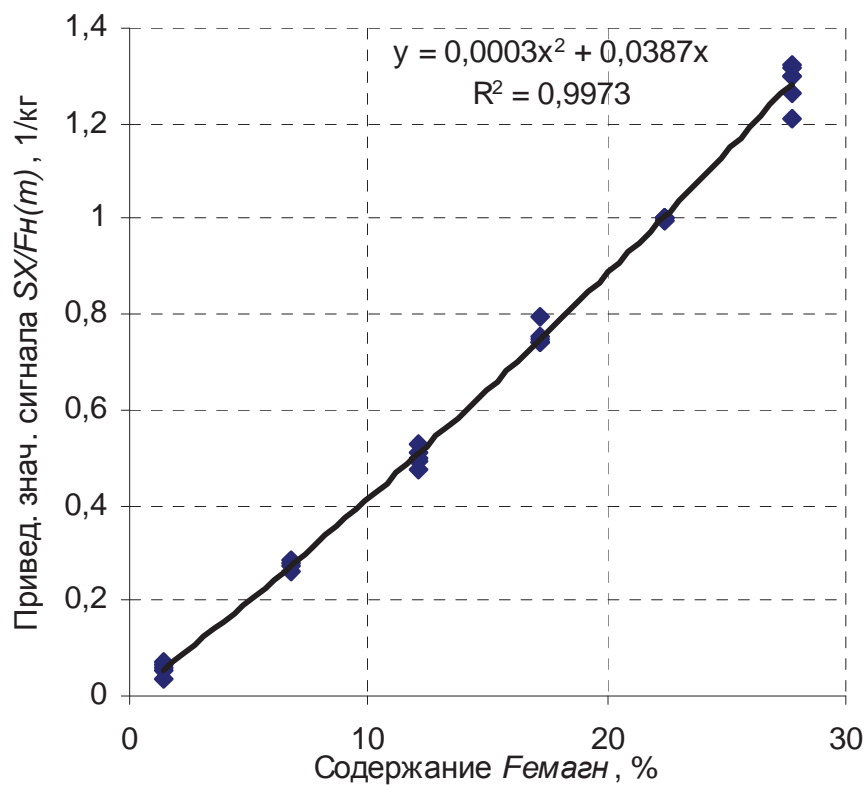
a)



б)



б)



г)

Рис. 2. Апробация усовершенствованной математической модели (1) в неравномерном магнитное поле

На рис. 2,б видно, что это позволяет, при варьировании степени заполнения в широких пределах, стабилизировать отношение $SX/F_n(m)$, причем для любого содержания $Fe_{\text{магн}}$.

На рис. 2,в видно, что все шесть зависимостей укладываются в одну линию, а на рис. 2,г – что введение нормирующей функции позволяет обеспечить хорошую корреляцию между входным параметром $SX/F_n(m)$ и содержанием $Fe_{\text{магн}}$. Коэффициент детерминации R^2 составил более 0.99.

Принцип градуировки устройства контроля с использованием новой модели заключается в следующем.

1. При постоянном содержании $Fe_{\text{магн}}$, выбранном приблизительно в середине рабочего диапазона, варьируя массу рудного материала в зоне контроля, эмпирически получают нормирующую функцию $SX=F_n(m)$, рассчитывают для нее методом наименьших квадратов коэффициенты аппроксимирующего полинома 2...3 степени и сохраняют в постоянной памяти устройства.

2. С использованием полученной нормирующей функции при постоянной степени заполнения и варьировании содержания $Fe_{\text{магн}}$ получают основную градуировочную зависимость между приведенной магнитной восприимчивостью $SX/F_n(m)$ и содержанием $Fe_{\text{магн}} = F(SX/F_n(m))$, рассчитывают для нее коэффициенты аппроксимирующего полинома 1...3 степени и сохраняют в памяти устройства. После этого устройство считается отградуированным.

Таким образом, предложенная усовершенствованная модель учитывает нелинейность связи между сигналом магнитной восприимчивости SX и массой рудного материала m . При этом за счет дополнительной нормирующей функции исключается влияние количества (толщины слоя) руды, находящейся в зоне контроля, на результат контроля. Это позволяет разрабатывать простые, надежные и технологичные накладные датчики на базе ИПП в виде плоских катушек для непрерывного контроля качества магнетитовых руд на конвейере.

Выводы и направление дальнейших исследований.

1. Рассмотрено взаимодействие индуктивного первичного преобразователя (ИПП) с магнетитовой рудой при *переменном* количестве материала в зоне контроля, и классифицированы три *режима работы* ИПП: *без насыщения, частичное и полное насыщение*. Выбран линейный режим *без насыщения*, при котором величина полезного сигнала *прямо пропорциональна* массе ферромагнетика при заполнении зоны контроля.

2. Для ИПП, работающего в режиме *без насыщения* с *равномерным* магнитным полем: относительное изменение индуктивности $\Delta L/L_0$, наблюдаемое при внесении рудного материала в магнитное поле ИПП (эффективная магнитная восприимчивость), *прямо пропорционально* магнитной восприимчивости чистого магнетита, его содержанию и общей массе материала.

3. Согласно базовой модели содержание $Fe_{\text{магн}}$ в руде определяется *по двум* информативным параметрам: относительному изменению индук-

тивности $\Delta L/L_0$ (сигналу магнитной восприимчивости SX) и общей массе материала m . Введение *нормирования* сигнала SX по массе позволило исключить влияние колебаний *количества* материала в зоне контроля на результат и получить СКО показаний модели от данных химического анализа не более **0.5–0.7%** абс. ед. для различных типов руд и месторождений Кривбасса (при содержании $Fe_{\text{магн}}$ до 30% и постоянной крупности материала).

4. Для ИПП *с частичным насыщением* (накладная плоская катушка с *неравномерным* магнитным полем в зоне контроля) разработана *усовершенствованная* математическая модель (1), учитывающая характерную для данного режима *нелинейность* связи между сигналом магнитной восприимчивости SX и массой m рудного материала. В данной модели за счет введения дополнительной *нормирующей функции* $F_n(m)$ (полином 2...3 степени) также в значительной степени исключается влияние колебаний *количества* (толщины слоя) материала в зоне контроля, что позволяет применять простые, надежные и технологичные *накладные* ИПП на конвейере.

Список литературы

1. Марюта А.Н., Младецкий П.К., Новицкий П.А. Контроль качества минерального сырья, К.; Техника, 1976. -220 с.

2. Соболев В.С., Шкарлет Ю.М. Накладные и экранные датчики.- Новосибирск; Наука, 1967. –143 с.

3. Кудрявцев Ю.И. Индукционные методы измерения магнитной восприимчивости горных пород и руд в естественных условиях. – Л.Недра, 1978. –240 с.

УДК 622.271.33.004.17

О.Ю. БЛИЗНЮКОВА, аспирант

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ГОРНЫХ РАБОТ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КАРЬЕРА НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Режим горных работ и производительность карьера по руде являются определяющими факторами при проектировании открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Поэтому ученые и проектировщики при любой технике и технологии горных работ уделяют постоянное внимание совершенствованию методов выбора режима горных работ и производительности карьера. Под режимом горных работ понимают последовательность вскрышных и добычных работ в границах карьерного поля, за весь или длительный период работы карьера. Технологическим признаком ра-