

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ РУДНОГО МАТЕРИАЛА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ НАКЛАДНОГО ИНДУКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА ТОЧНОСТЬ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МАГНЕТИТОВЫХ РУД

В статье рассмотрен фактор, снижающий точность непрерывного контроля качества железорудного сырья в конвейерном потоке: влияние изменения пространственного расположения рудного материала (формы, смещения и расстояния от рудного потока до датчика) на выходной сигнал датчика магнитной восприимчивости. Рассмотрена конструкция предложенного накладного индуктивного преобразователя в виде катушки-рамки. Описаны теоретические и экспериментальные исследования по оптимизации параметров преобразователя. В результате определены оптимальные форма, размеры преобразователя и расстояние до рудного потока, при которых достигается необходимая степень однородности создаваемого им магнитного поля в зоне измерения и минимизируется погрешность измерения содержания железа магнетитового, обусловленная рассматриваемым фактором.

У ддстатті розглянутий фактор, що знижує точність безперервного контролю якості залізорудної сировини в конвеєрному потоці: вплив зміни просторового розташування рудного матеріалу (форми, зсуви й відстані від рудного потоку до датчика) на вихідний сигнал датчика магнітної сприйнятливості. Розглянуто конструкцію запропонованого накладного індуктивного перетворювача у вигляді котушки-рамки. Описано теоретичні й експериментальні дослідження з оптимізації параметрів перетворювача. У результаті визначені оптимальні форма, розміри перетворювача й відстань до рудного потоку, при яких досягається необхідний ступінь однорідності створеного ним магнітного поля в зоні виміру й мінімізується погрішність виміру вмісту заліза магнетитового, обумовленим розглянутим фактором.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Для управления технологическим процессом обогащения магнетитовых руд в условиях рудообогатительной фабрики необходима непрерывная, оперативная и достоверная информация о содержании железа магнетитового ( $Fe_{\text{магн.}}$ ) в потоке исходной руды, поступающей в переработку. Получить требуемую информацию можно с помощью информационно-измерительных систем (ИИС), принцип работы которых основан *магнитометрическим способом контроля*, суть которого состоит в зависимости магнитных свойств рудного материала от содержания в нем магнетита.

Однако точность магнитометрического способа при использовании его для непрерывного контроля уступает точности химического анализа и зачастую оказывается недостаточной из-за наличия ряда *мешающих факторов*.

В частности, в ходе исследований стабильности работы ИИС непрерывного контроля содержания железа магнетитового в рудном потоке на конвейере (ДЖМ-К), которые проведены в условиях рудообогатительных фабрик

ГОКа ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог», выяснилось, что *форма, смещение рудного потока* относительно оси конвейера, а также *расстояние* от датчика до конвейерной ленты (до рудного материала) – не постоянны.

Причина состоит в том, что на конвейер, *питающий* мельницу, руда поступает не с одного, а с нескольких (от двух до четырех) *сборных* конвейеров, при переключении которых могут значительно изменяться форма и смещение рудного материала в точке контроля (на питающем конвейере). Негативно сказывается также поперечный уход ленты от оси конвейера. Так, при номинальной производительности ширина потока может колебаться в диапазоне 200–400 мм (за счет изменения его формы), а смещение потока от оси достигает  $\pm 100$  мм.

При смещении потока от оси конвейера из-за кривизны профиля ленты изменяется также расстояние от рудного материала до датчика магнитной восприимчивости (индуктивного преобразователя), установленного под лентой. Расстояние может также изменяться и при изменении погонной нагрузки за счет изменения провисания ленты в пределах нескольких миллиметров.

Все перечисленные выше факторы можно рассматривать как один: *изменение пространственного расположения рудного материала в магнитном поле индуктивного преобразователя*. Данный фактор влияет на чувствительность индуктивного преобразователя, и соответственно, на величину его выходного сигнала, что снижает точность контроля содержания магнетита в горной массе. Так, промышленные испытания одной из первых модификаций установки ДЖМ-К с накладным индуктивным преобразователем в виде круговой катушки малого диаметра (150 мм), установленной под лентой на оси конвейера, дали неудовлетворительные результаты. При уходе потока в сторону абсолютная погрешность показаний составляла 5 % абс.ед. и более при содержании железа магнетитового около 25 %.

Анализ показал, что *причиной того, что выходной сигнал индуктивного преобразователя зависит от пространственного расположения исследуемого ферромагнитного материала, является неоднородность магнитного поля преобразователя в зоне измерения*. На рис. 1 показана картина магнитного поля кругового витка диаметром 150 мм с током 1А, полученная с помощью программы расчета магнитных полей FEMM 4.2 (автор David Meeker).

Видно, что наибольшая напряженность наблюдается вблизи проводника, но поле очень неоднородно. В центре витка находится зона наиболее однородного поля. На оси на некотором расстоянии от витка также можно выделить небольшую зону, в которой модуль напряженности изменяется незначительно, однако абсолютное значение напряженности – в несколько раз ниже, чем в центре.

**Анализ публикаций. Существующие способы исключения влияния расположения рудного материала.** Наилучший результат обеспечивает формирование *однородного* магнитного поля в зоне измерения, например с помощью колец Гельмгольца [1]. При этом любое изменение пространственного расположения рудного материала относительно датчика (в пределах

зоны однородности магнитного поля) практически не влияет на величину его выходного сигнала.

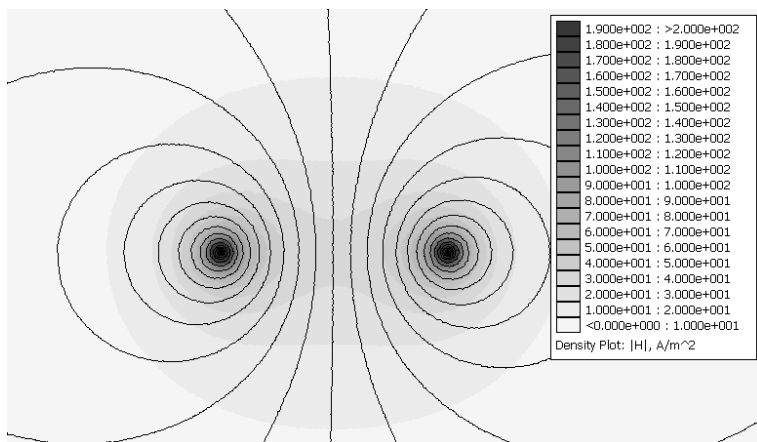


Рис. 1. Моделирование картины магнитного поля кругового витка с током с помощью программы FEMM 4.2

Автором разработан способ измерения и устройство (датчик железа магнитного ДЖМ-4) [2], основанные на автоматическом последовательном измерении магнитной восприимчивости пробы дробленого рудного материала в однородном магнитном поле, в трех взаимно перпендикулярных направлениях. В устройстве установлена система трех индуктивных преобразователей, каждый из которых выполнен в виде пары колец Гельмгольца, как показано на рис. 2. При диаметре колец 180 мм и расстоянии между ними 90 мм в датчике получен объем однородного магнитного поля 70x70x70 мм. Неравномерность чувствительности преобразователя в пределах всего измерительного объема составляет около 2 %. Погрешность измерения массовой доли магнетита горной массы крупностью -20мм уменьшена в 6 раз по сравнению с устройством предыдущей модификации ДЖМ-3, в котором в качестве индуктивного преобразователя использован обычный соленоид.

Однако описанный индуктивный преобразователь выполнен в виде датчика *проходного типа* (проба рудного материала помещается внутри преобразователя), из-за чего использовать его на конвейере затруднительно.

Для исключения влияния расстояния от датчика до рудного потока можно ввести коррекцию выходного сигнала по измеренному расстоянию, либо использовать несколько индуктивных преобразователей с дальнейшей математической обработкой их сигналов с целью получения комплексного сигнала, не зависящего от расстояния.

Например, автором разработан способ измерения и переносной накладной датчик железа магнитного ДЖМ-П [3], в котором в одной плоскости установлены две соосные круговые катушки различного диаметра (см. рис. 3). Выходные сигналы, снимаемые с катушек, зависят как от магнитной воспри-

имчивости, так и от расстояния. Но характер их зависимостей от расстояния – различный, что позволяет по соотношению сигналов определить расстояние, а затем по нему скорректировать сигнал одной из катушек. В результате скорректированный сигнал зависит только от магнитной восприимчивости материала и не зависит от расстояния до него. При диаметре катушек 200 мм и 100 мм в пределах расстояния от 0 до 80 мм получены практически постоянные показания содержания магнетита [3].

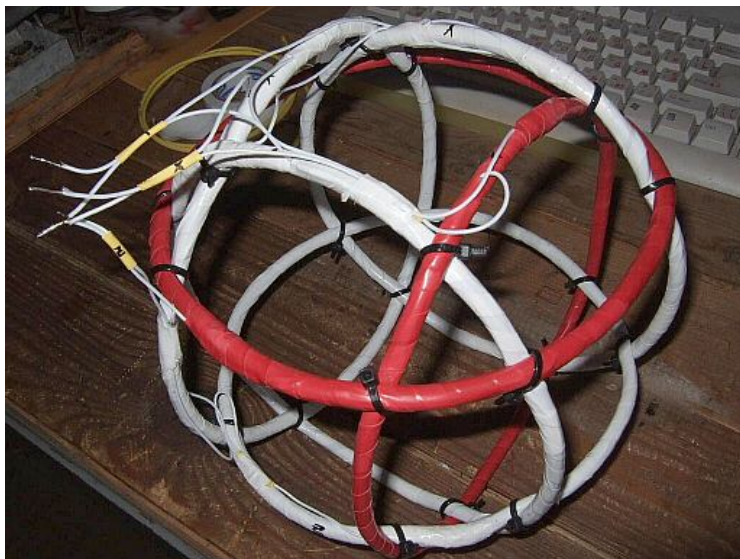


Рис. 2. Трехмерная система колец Гельмгольца устройства ДЖМ-4 для измерения магнитной восприимчивости рудного материала в однородном магнитном поле в трех направлениях

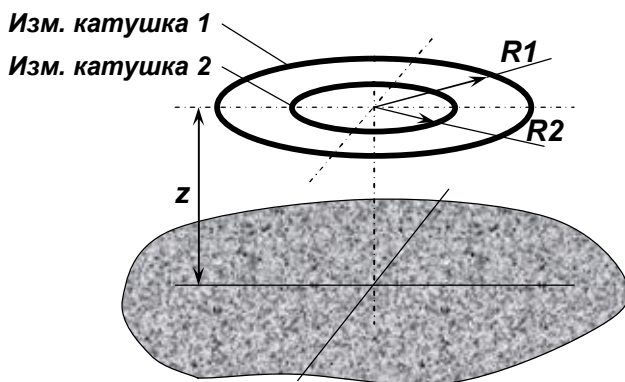


Рис. 3. Устройство датчика железа магнитного ДЖМ-П, в котором исключена зависимость показаний от расстояния до материала

Недостатком указанных способов учета применительно к установке на конвейере в условиях рудообогатительной фабрики является сложность в настройке, т.к. необходимо производить две градуировки: первую – при изменении расстояния и постоянном содержании магнетита (отстройка от расстояния), вторую – при различных содержаниях магнетита.

Кроме того, даже если влияние расстояния можно учесть, то остается проблема с горизонтальным смещением и изменением формы рудопотока.

**Постановка задачи.** Разработать индуктивный преобразователь для установки под конвейерной лентой. Исследовать фактор влияния изменения пространственного расположения рудного потока. Оптимизировать параметры преобразователя с целью минимизировать влияние указанного фактора.

**Изложение материала и результаты.** С учетом разработанных ранее конструкций, а также исходя из условий в месте установки магнитного датчика, автором предложен *накладной индуктивный преобразователь в виде прямоугольной катушки – рамки с током*. Преобразователь устанавливается неподвижно под конвейерной лентой на определенном расстоянии до нее, как показано на рис. 4. Ширина рамки примерно в два раза больше средней ширины рудного потока, что позволяет рассматривать рамку как два *длинных* параллельных проводника с противоположно направленным током. В этом случае напряженность магнитного поля вдоль проводников в пределах рудного потока одинакова, что позволяет анализировать *равномерно весь поток по ширине*. Преобразователь работает в режиме «без насыщения», при этом величина выходного сигнала прямо пропорциональна как магнитной восприимчивости (содержанию магнетита), так и количеству (массе) рудного материала на ленте.

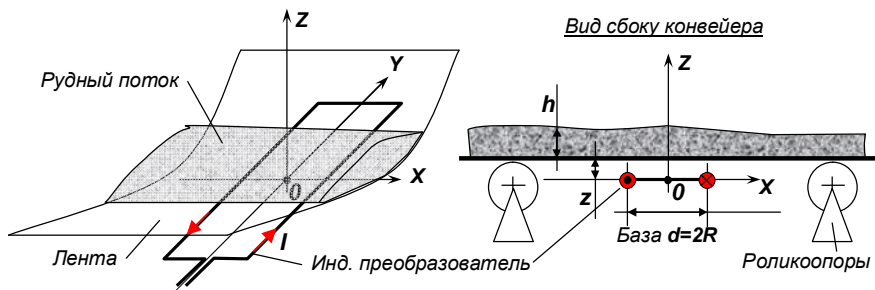


Рис. 4. Конструкция предложенного накладного индуктивного преобразователя

Ниже приведены теоретические и экспериментальные исследования, цель которых следующая. *Путем выбора оптимальных параметров преобразователя (форма, размеры, расстояние до рудного потока) уменьшить неоднородность магнитного поля в зоне прохождения рудного потока и, тем самым, снизить погрешность, обусловленную изменением расположения рудного материала; при этом сохранить достаточную чувствительность индуктивного преобразователя.*

При оптимизации учитывались следующие условия:

- Номинальная производительность конвейера: 100 т/ч.
- Скорость конвейера: 1,3 м/с.
- Длительность цикла измерения: 1–3 с.
- Ширина рудного потока: 300 мм.
- Максимально допустимое смещение потока от оси конвейера:  $\pm 50$  мм.
- Толщина рудного потока: 50 мм.
- Крупность рудного материала: -20 мм.
- Толщина конвейерной ленты: 15–20 мм.
- Максимальное отклонение расстояния от датчика до ленты, связанное с изменением провисания ленты между роликовыми опорами:  $\pm 2$  мм.
- Расстояние между роликоопорами вдоль оси конвейера, определяющее свободное пространство для установки датчика: 600 мм.

Введем следующие обозначения. Начало координат совместим с центром катушки. Ось  $X$  направим вдоль оси конвейера, по ней отсчитывается длина преобразователя  $d=2R$ , которую назовем *базовым расстоянием* между поперечными проводниками, или просто *базой*. Ось  $Y$  – по ширине конвейера, по ней отсчитывается ширина преобразователя и ширина рудопотока. Ось  $Z$  – вертикально, по ней отсчитывается расстояние от преобразователя до потока, которое обозначим  $z$ , и толщина потока –  $h$ .

Представим индуктивный преобразователь в виде бесконечных параллельных проводников с противоположно направленным током. На основе закона Био-Савара-Лапласа и принципа суперпозиции магнитных полей получена следующая формула для расчета модуля напряженности магнитного поля в произвольной точке зоны измерения:

$$H = \frac{IR}{\pi \sqrt{((R-x)^2 + z^2)((R+x)^2 + z^2)}}, \quad (1)$$

где  $I$  – сила тока, А;  $R=d/2$  – половина базы, м;  $x, z$  – координаты точки, в которой рассчитывается напряженность ( $x$  – смещение от центральной линии,  $z$  – расстояние до плоскости витка), м.

Расчет напряженности магнитного поля в плоскостях, отстоящих на различном расстоянии от плоскости витка, дал результаты, приведенные на рис. 5. Принято, что вдоль оси  $Y$  в пределах ширины рудопотока напряженность постоянна.

Из графиков видно, на малом расстоянии ( $z < 20$  мм) наблюдается большая неоднородность поля вблизи проводников: напряженность поля над проводниками ( $x = \pm 100$  мм) в два раза и более превышает напряженность над центральной линией преобразователя ( $x = 0$ ). На среднем расстоянии (50–100 мм), значения напряженности над проводниками и в центре приблизительно выравниваются. С увеличением расстояния напряженность в центре превышает напряженность на краях преобразователя, и в среднем напряженность снижается. Очевидно, что с точки зрения уменьшения неравномерности магнитного

поля по направлению движения потока (т.е. вдоль оси  $X$ ) при его толщине  $h=50$  мм оптимальным расстоянием до потока является  $z=50$  мм. При этом рудный материал расположен в диапазоне расстояний  $z=(50-100)$  мм, где поле наиболее однородно. Однако равномерность поля по направлению движения потока не настолько важна, как по ширине и высоте, поскольку за счет движения рудного материала преобразователь производит *усредненное измерение* достаточно большого отрезка потока по сравнению с длиной самого преобразователя. Так, за время измерения несколько секунд проходит отрезок рудопотока не менее нескольких метров, что намного больше базы преобразователя, составляющей около 200 мм.

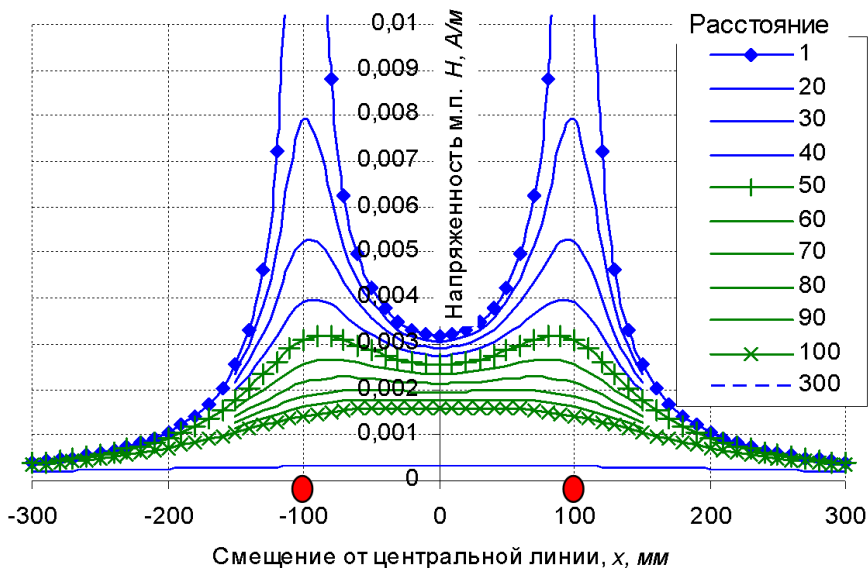


Рис. 5. Распределение модуля напряженности магнитного поля над индуктивным преобразователем.  $H=f(x,z)$ . База  $d=2R=200$  мм, ток 1 А

**Выбор оптимальной базы преобразователя.** Используя полученную зависимость  $H=f(x,z)$ , определим оптимальное базовое расстояние. На рис. 6 показано распределение напряженности магнитного поля на фиксированном расстоянии  $z=70$  мм для трех различных баз преобразователя:  $d=100, 200$  и  $400$  мм. Критериями выбора оптимальной базы являются максимальная чувствительность в месте установки датчика и минимальная – по краям на расстоянии  $x=\pm 300$  мм, где находятся массивные вращающиеся роликкоопоры, которые могут оказывать значительное влияние на индуктивность катушки, вызывая дополнительную погрешность измерения магнитной восприимчивости горной массы.

Из графиков видно, что при большой базе ( $d=400$  мм, кривая 1) магнитное поле распространяется достаточно широко, и чувствительность в зоне расположения роликкоопор ( $x=\pm 300$  мм) сравнима с чувствительностью над

преобразователем. При малой базе (100 мм, кривая 3) – снижена общая чувствительность преобразователя. Оптимальной в данных условиях является величина базового расстояния (200 мм, кривая 2), при которой достигается достаточная чувствительность в центре, и вместе с тем, в области роlikоопор чувствительность снижена почти на порядок.

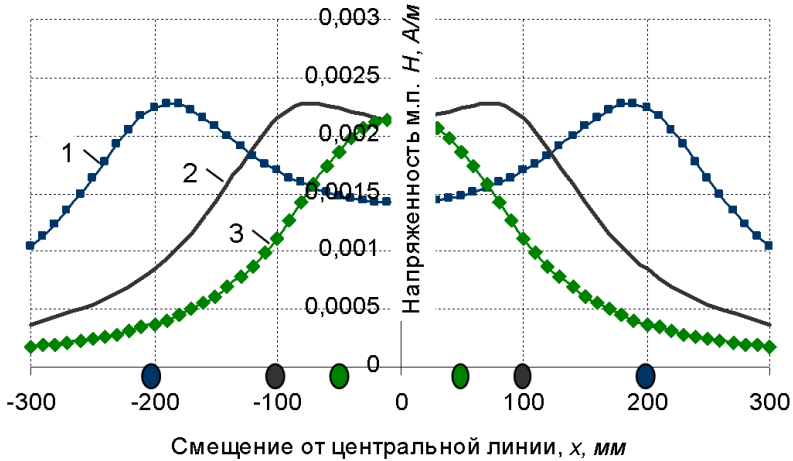


Рис. 6. Выбор оптимальной базы индуктивного преобразователя. 1 - 400мм, 2 - 200мм, 3 - 100мм

**Выбор оптимального расстояния до рудного потока.** Рассмотрим данную задачу с точки зрения минимизации неоднородности магнитного поля в рудном потоке и уменьшения влияния факторов формы потока и насыпной плотности материала. Проанализируем неравномерность магнитного поля преобразователя в пределах толщины рудного потока, для этого представим движущийся поток разделенным на горизонтальные слои.

Среднее интегральное значение модуля напряженности магнитного поля в слое, отстоящем на расстоянии  $z$ , на некотором отрезке  $(x_1, x_2)$  рудного потока определим по формуле:

$$H_{\text{инт.сл.}} = \frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} H(R, x, z) dx, \quad (2)$$

где  $H(R, x, z)$  – функция модуля напряженности магнитного поля в произвольной точке над индуктивным преобразователем, определяемая формулой (1).

Произведем численное интегрирование данного выражения методом трапеций для различных расстояний  $z$ . При этом установим базу  $d=2R=200$  мм, силу тока  $I=1$ А и интервал интегрирования  $x=(-300;300)$  мм – отрезок рудопотока, где сосредоточено почти все магнитное поле преобразователя. Результаты расчета интегральной напряженности магнитного поля приведены на рис. 7 (кривая 3). Для сопоставления на этом же рисунке построены зави-



симости напряженности над проводником (кривая 1) и над центром преобразователя (кривая 2).

Из рисунка видно, что в центре преобразователя зависимость напряженности от расстояния практически отсутствует (кривая 2 при  $z \approx 0$ ). Но вблизи проводника – поле очень неоднородно (кривая 1 при  $z \approx 0$ ). Поэтому и интегральное значение напряженности магнитного поля (кривая 3) очень сильно зависит от расстояния при малых  $z$ .

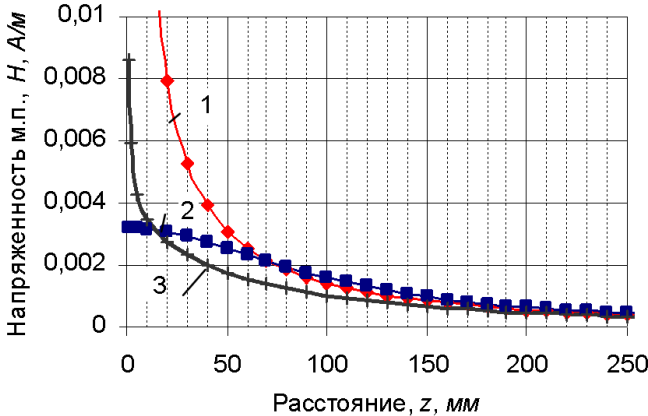


Рис. 7. Зависимость напряженности м.п. от расстояния до индуктивного преобразователя. 1 – над проводником, 2 – над центральной линией, 3 – интегральное значение в слое потока

Очевидно, что при прохождении анализируемого потока над преобразователем в нижних слоях напряженность поля (а значит и чувствительность) в среднем будет больше, чем в верхних. Поэтому измеренное значение магнитной восприимчивости – также характеризует магнитные свойства всего потока не равномерно, что нежелательно, т.к. приводит к снижению точности контроля при изменениях формы рудного потока и насыпной плотности материала. Цель оптимизации расстояния – уменьшение неравномерности магнитного поля в пределах толщины рудного потока  $h$ .

Для оценки введем коэффициент неравномерности магнитного поля рудном потоке, равный отношению средних интегральных напряженностей в нижнем (находящемся на расстоянии  $z$ ) и верхнем ( $z+h$ ) слоях рудного потока:

$$k_n = \frac{H_{инт.сл.}(z)}{H_{инт.сл.}(z+h)}. \quad (3)$$

Зависимость  $k_n = f(z)$  для рудного потока толщиной  $h=50$  мм приведены на рис. 8, где видно что с увеличением расстояния  $k_n$  убывает сначала быстро ( $z$  до 20-30 мм), а затем незначительно. По графику можно сделать вывод, что размещать преобразователь следует на расстоянии не менее 20-30 мм до рудопотока.

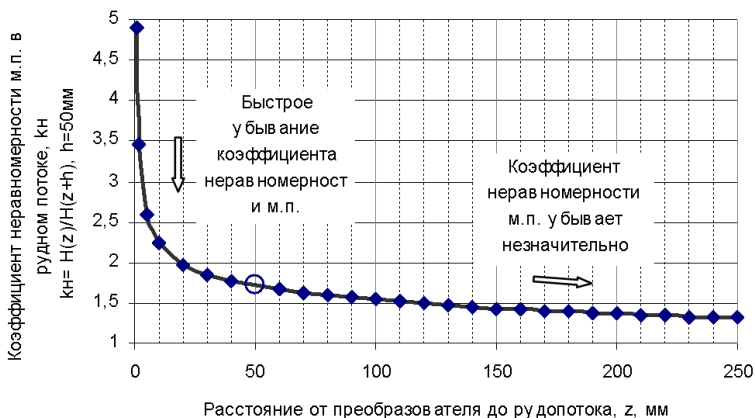


Рис. 8. Зависимость коэффициента неравномерности м.п. от расстояния до индуктивного преобразователя

Для уменьшения неоднородности магнитного поля в рудном потоке следует увеличивать расстояние. Однако с увеличением расстояния снижается чувствительность индуктивного преобразователя, что при заданных разрешающей способности и аппаратурной погрешности вторичного прибора приводит к снижению точности контроля магнитной горной массы. Следовательно, для выбора оптимального расстояния коэффициент неравномерности необходимо сопоставить с *интегральной чувствительностью* преобразователя – при различном расстоянии до рудопотока.

Ранее автором экспериментально установлено, что чувствительность индуктивного преобразователя (и соответственно величина его выходного сигнала) при помещении куска ферромагнитного материала в некоторую точку прямо пропорционально зависит от относительной величины модуля напряженности магнитного поля в этой точке. Поэтому в качестве оценки интегральной чувствительности можно взять *среднюю интегральную напряженность магнитного поля в потоке*, величину которой рассчитаем как среднее интегральное значение средних напряженностей во всех слоях по всей толщине потока:

$$H_{инт.ном.} = \frac{1}{h} \int_z^{z+h} H_{инт.сл.}(z) dz, \quad (4)$$

где  $z$ ,  $z+h$  – расстояния до нижнего и верхнего слоев рудопотока, соответственно. Задавая при расчете различное расстояние до рудопотока, получим ряд значений интегральной напряженности  $H_{инт.ном.} = f(z)$ . По результатам расчетов построена зависимость коэффициента неравномерности и интегральной напряженности в потоке (интегральной чувствительности) от расстояния, приведенная на рис. 9.

Из графика видно, что кривая имеет точку перегиба. Сначала при увеличении расстояния до 10 мм (до точки перегиба) – в большей степени происходит снижение коэффициента неравномерности магнитного поля. Затем в основном снижаются напряженность и чувствительность преобразователя. Учитывая, что полученная кривая имеет точку перегиба, рационально выбрать рабочее расстояние за точкой перегиба, т. е. начиная с 20 мм, что позволит значительно снизить коэффициент неравномерности и в то же время сохранить достаточно высокую чувствительность.

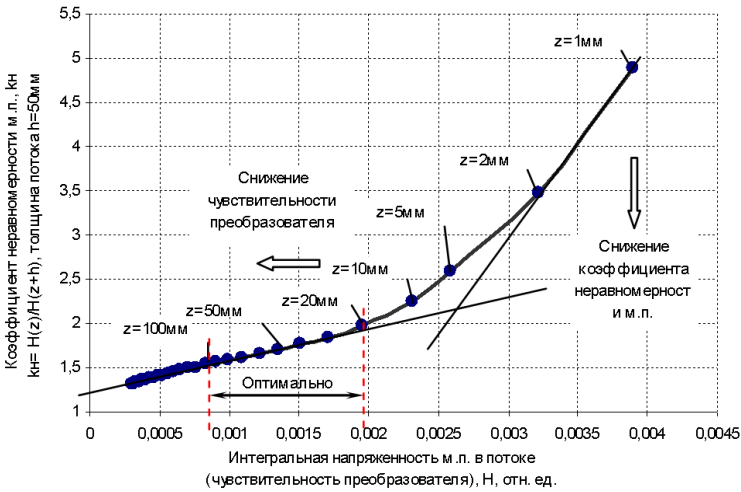


Рис. 9. Выбор оптимального расстояния до рудного потока исходя из коэфф. неравномерности м.п. и чувствительности преобразователя

Определим теперь оптимальное расстояние до рудного потока с точки зрения минимизации относительной погрешности показаний индуктивного преобразователя, обусловленной колебанием расстояния  $\Delta z$ , что позволяет уменьшить влияние нестабильности натяжения и изменения стрелы провисания конвейерной ленты. Относительную погрешность определим как *относительное изменение интегральной напряженности магнитного поля в потоке на единицу изменения расстояния  $\Delta z$* :

$$\gamma = \frac{\Delta H_{\text{инт.ном.}}}{H_{\text{инт.ном.}}} \bigg/ \Delta z = \frac{H_{\text{инт.ном.}}(z + \Delta z) - H_{\text{инт.ном.}}(z)}{H_{\text{инт.ном.}}(z)} \bigg/ \Delta z, \quad (5)$$

Для вычисления интегральной напряженности используем полученную ранее зависимость  $H_{\text{инт.ном.}} = f(z)$ , график которой приведен на рис. 7. Результаты расчета приведены на рис. 10, откуда видно, что с увеличением расстояния погрешность уменьшается, причем сначала ( $z < 20$  мм) быстро, затем незначительно.

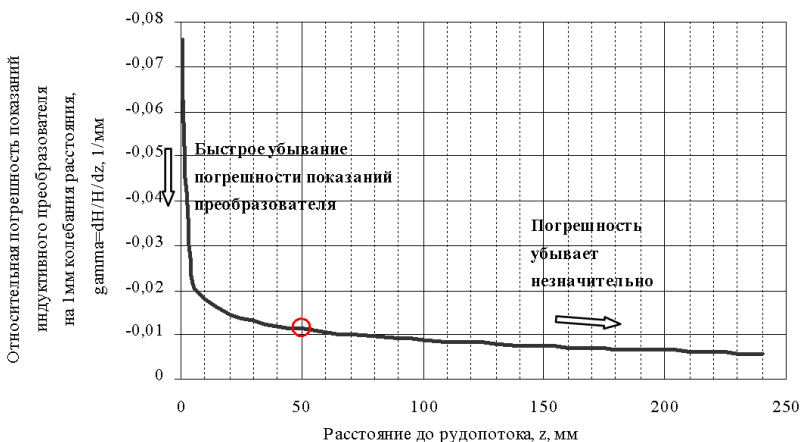


Рис. 10. Выбор оптимального расстояния до рудного потока исходя из допустимой погрешности, обусловленной колебанием расстояния

Из графика можно определить, что на расстоянии до рудопотока 50 мм относительная погрешность измерения составит 0,0112 на каждый 1 мм вертикального колебания конвейерной ленты, что при содержании магнетита 30 % составит  $\pm 0,34$  % абсолютных единиц. Соответственно, при нормированном колебании ленты не более  $\pm 2$  мм – теоретически абсолютная погрешность показаний содержания магнетита составит не более  $\pm 0,68$  % абс. ед., что допускается ДСТУ 3203-95 [4] ( $\pm 0,7$  % абс. ед. для диапазона 15–30 %).

Сопоставим рассматриваемую относительную погрешность измерения с интегральной чувствительностью преобразователя – при различном расстоянии до рудопотока. На рис. 11 показаны три кривых, построенных для преобразователей с различной базой, откуда видно, что зависимости носят одинаковый характер и имеют точку перегиба. При увеличении расстояния до 10 мм в большей степени происходит снижение погрешности, затем – в основном снижается чувствительность преобразователя.

Задав максимально допустимый уровень относительной погрешности преобразователя – не более  $0,0112 \text{ мм}^{-1}$  (верхний уровень, который допускается ДСТУ, как было показано выше) и минимально допустимый уровень чувствительности  $H \approx 0,0008$  (соответствующий расстоянию 100 мм при базе 200 мм) – получим область допустимых значений погрешности и чувствительности (заштрихована на графике).

Из графика определяем: кривая 2 (база 200 мм) пересекает данную область в диапазоне расстояний 50–100 мм. Для базы 400 мм диапазон, обеспечивающий аналогичные точность и чувствительность будет шире: (25–150) мм. Кривая 1 (база 100 мм) вообще не имеет пересечения с данной областью: при малой базе требуемые точность и чувствительность не могут быть достигнуты одновременно из-за большой неравномерности магнитного поля и малой чувствительности, что подтверждает правильность выбора оптимального расстояния до рудного потока.

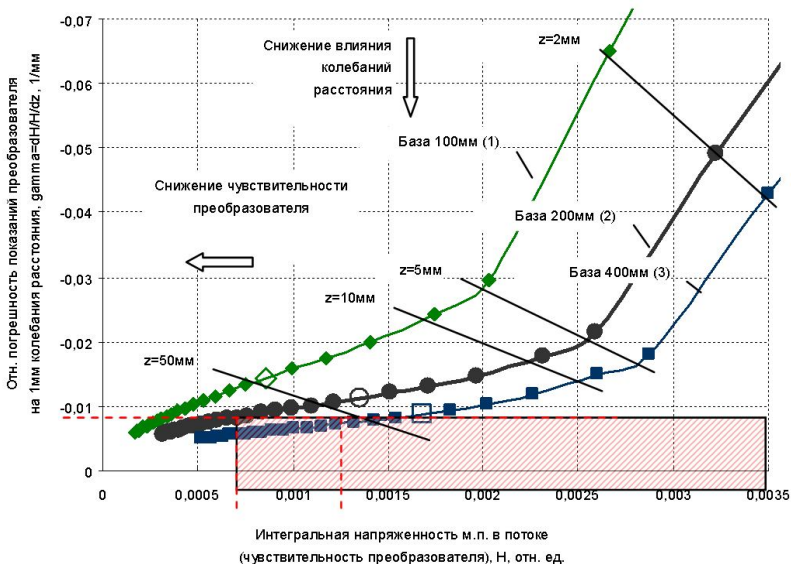


Рис. 11. Выбор опт. расстояния до рудного потока исходя из допустимой погрешности (при колеб. расстояния) и чувствительности преобразователя

**Экспериментальная проверка результатов оптимизации расстояния до рудного потока.** Экспериментальные исследования проведены в лабораторных условиях с использованием рабочего датчика магнитной восприимчивости (база 200 мм, ширина 600 мм) и макета рудного потока (ширина 300 мм, толщина 50 мм, содержание магнетита 25 %, крупность материала -20 мм). Внешний вид лабораторной установки показан на рис. 12.



Рис. 12. Физическая модель «датчик-рудопоток» для исследования влияния расстояния до потока и смещения потока

Экспериментально получена зависимость величины выходного сигнала преобразователя от расстояния до рудопотока (рис. 13). По характеру полученная зависимость совпала с зависимостью (на рис. 8), полученной теоретически.

При аппроксимации получено следующее аналитическое выражение:

$$SX = 49634(1/z)^4 - 4371.5(1/z)^3 + 127.2(1/z)^2 - 0.3628(1/z).$$

Коэффициент детерминации  $R^2$  составил 0.9994.

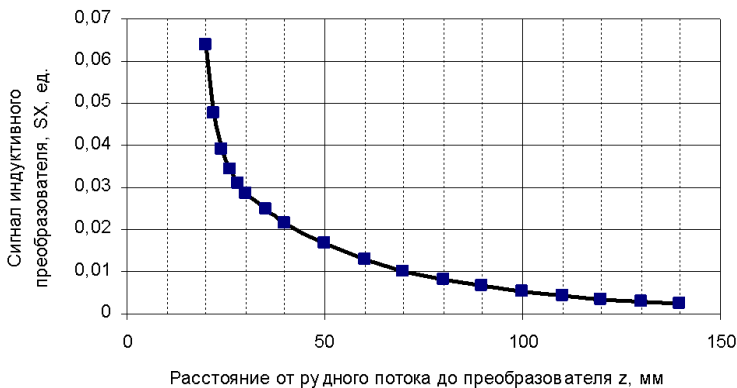


Рис. 13. Экспериментально полученная зависимость выходного сигнала инд. преобразователя от расстояния до рудопотока:  $SX=f(z)$

Используя полученное аналитическое выражение, по формуле (5) рассчитана относительная погрешность преобразователя на 1 мм изменения расстояния и сопоставлена с чувствительностью преобразователя при различных расстояниях до рудопотока (рис. 14).

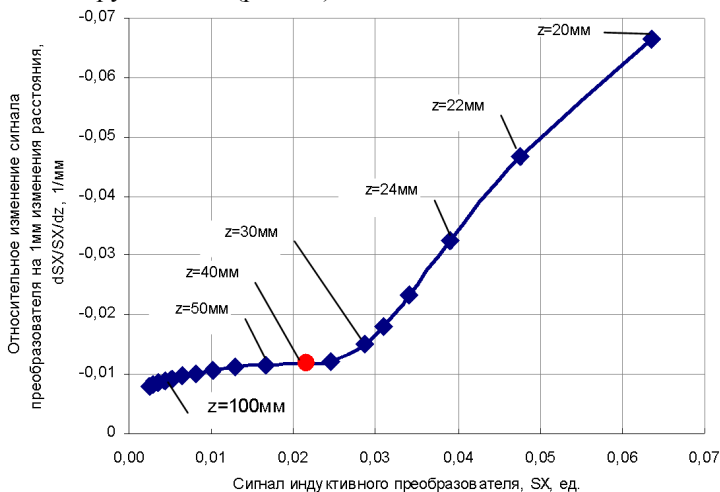


Рис. 14. Сопоставление экспериментально полученных относительной погрешности (на 1 мм изменения расстояния) и чувствительности преобразователя – при различном расстоянии до рудопотока

Видно, что характеры экспериментальной и теоретической зависимостей (рис. 14 и рис. 11 соответственно) также одинаковы. Из графика аналогично (за точкой перегиба) выбрано оптимальное расстояние до рудопотока, составляющее около 40 мм. При данном расстоянии колебание зазора в пределах  $\pm 2$  мм вызывает относительную погрешность преобразователя  $0,011 \cdot 2 = 0,022$ , что при содержании магнетита 30 % составляет абсолютно  $\pm 0,66$  %.

**Выбор формы индуктивного преобразователя.** Для исключения влияния случайного смещения рудного потока от оси конвейера необходимо обеспечить одинаковую чувствительность преобразователя по ширине конвейера в зоне измерения.

Автором предложено следующее решение (см. рис. 15) [5]. Форма преобразователя изменена с плоской на вогнутую (параболическую, повторяющую поперечный профиль конвейерной ленты). За счет этого обеспечивается равномерность расстояния до рудного материала и, соответственно, чувствительности – по всей ширине рудного потока. Ширина преобразователя выбрана в два раза больше ширины потока, что позволило практически исключить снижение напряженности магнитного поля (т.н. «краевой эффект») при смещении материала от оси конвейера.

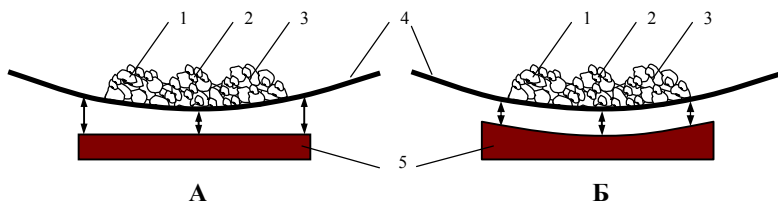


Рис. 15. Выбор формы индуктивного преобразователя для исключения влияния случайного смещения потока руды от оси конвейера. А – плоская форма; Б – параболическая форма; 1, 2, 3 – возможные положения потока руды на конвейерной ленте; 4 – конвейерная лента; 5 – преобразователь

В реальных условиях на конвейере исследованы зависимости величины полезного сигнала от смещения рудного потока – для плоского и вогнутого датчиков (см. рис. 16).

Очевидно, применение датчика предложенной конфигурации позволяет значительно снизить влияние смещения рудопотока. Так, при максимально допустимом смещении  $\pm 50$  мм относительное изменение величины полезного сигнала составляет  $-0,008$ , что при содержании магнетита 30 % составляет  $-0,24$  % абсолютных единиц, что почти в 3 раза меньше нормы, допускаемой ДСТУ 3203-95 [4]. По сравнению с обычным плоским датчиком погрешность снижена примерно в 6 раз.

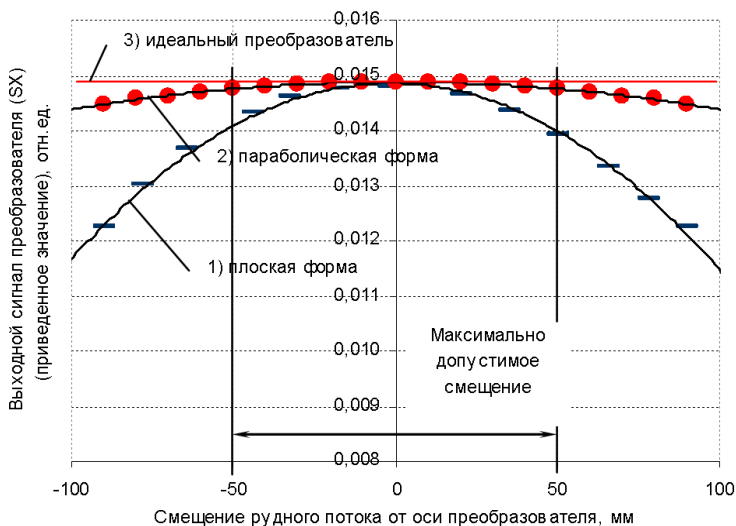


Рис. 16. Результаты эксперимента со смещением рудного потока для индуктивных преобразователей с плоской и параболической формой

**Выводы и направление для дальнейших исследований.** Влияние изменения пространственного расположения рудного материала уменьшено путем оптимизации параметров предложенного накладного индуктивного преобразователя и получения более однородного магнитного поля в зоне измерения. -

Оптимальная база преобразователя составляет 200 мм. Чем больше база накладного индуктивного преобразователя – тем больше его чувствительность и меньше погрешности, связанные с неоднородностью магнитного поля, однако выбор большой базы ограничен размерами пространства между роликсопорами, где устанавливается преобразователь.

Оптимальное расстояние до рудопотока составляет 40–50 мм. Нижний предел определен исходя из заданной максимально допустимой погрешности, обусловленной неоднородностью магнитного поля вблизи преобразователя и изменением расположения рудного потока. Верхний предел – исходя из разрешающей способности вторичного преобразователя, и может быть скорректирован на практике.

Параболическая форма индуктивного преобразователя позволяет достичь одинаковой чувствительности по всей ширине потока и, тем самым, анализировать рудный поток *равномерно по всей ширине*, а также снизить погрешность контроля качества горной массы, обусловленную случайным смещением рудного потока от оси конвейера.

Дальнейшего снижения погрешности можно достичь путем разработки магнитного датчика с еще более однородным магнитным полем. Например, использовать не одну, а две одинаковые рамки (по аналогии с кольцами



Гельмгольца), расположенные по обе стороны конвейерной ленты: снизу и сверху рудного потока.

#### *Список литературы*

1. **Белявский Ю.В.** Индуктивный датчик с равномерным магнитным полем / **Белявский Ю.В., Старцев Н.В.** – «Известия вузов. Горный Журнал», 1971, №4.
2. Разработка переносного устройства контроля качества магнетитовых руд в условиях ГОКов на базе объемного датчика/ **А.А. Азарян, В.В. Дрига, Ю.Е.Цыбулевский** и др. // Качество минерального сырья: сб. науч. тр. / Криворожский техн. ун-т. –Кривой Рог : КТУ, 2008. –С. 483-491.
3. **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.
4. Руди залізни типу залізистих кварцитів. Метод визначення заліза магнетиту : ДСТУ 3203-95. –К.: Держстандарт України, 1995. –8 с. – (Національний стандарт України).
5. **Азарян А.А.** Исследование стабильности работы многоканальной системы оперативного контроля качества железистых кварцитов на конвейере/ **А.А. Азарян, В.В. Дрига, Ю.Е. Цыбулевский** // Разработка рудных месторождений : науч.-техн. сб. / Криворожский техн. ун-т. –Кривой Рог: КТУ, 2008. –Вып. 92. –С. 185-189.

УДК 004.75

А.А. АЗАРЯН, д-р техн. наук, проф., Ю.В. САПОНЧУК, М.С. КУКУШКИН  
ст. гр. ПЗАС 08-1, Криворожский технический университет

### **ГРИД-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**

В статье рассмотрен и показан простой пример реализации функций системы Grid-технологии для распределенных вычислений и обработки данных.

У статті розглянутий і показаний простий приклад реалізації функцій системи Grid-технології для розподілених обчислень і обробки даних.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Основной проблемой широко распространённых технологий глобальных компьютерных сетей является невозможность универсально и эффективно использовать удалённые вычислительные ресурсы. Изначально так называемые "Internet-технологии" ориентировались на доступ к данным (файлам, базам данных), а не к вычислительным мощностям. Для преодоления ограничений и недоработок существующих решений была предложена новая технология, получившая название Grid. Раньше для сложных и ресурсоёмких вычислительных задач использовали суперкомпьютеры, но теперь стало понятно, что эффективным и значительно более дешёвым решением является объединение в вычислительный комплекс большого числа персональных компьютеров. Мощности современных процессоров вполне достаточно для решения эле-