

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский государственный профессионально-педагогический  
университет»  
Институт инженерно-педагогического образования

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА  
В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

Выпускная квалификационная работа  
по направлению 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям)

Идентификационный код ВКР: 303

Екатеринбург 2016

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский государственный профессионально-педагогический  
университет»  
Институт инженерно-педагогического образования  
Кафедра технологии машиностроения, сертификации и  
методики профессионального обучения

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ:  
Заведующий кафедрой ТМС  
\_\_\_\_\_ Н.В. Бородина  
« \_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА  
В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

Выпускная квалификационная работа  
по направлению 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям)

Идентификационный код ВКР: 303

Исполнитель:

студент группы КМ-401

Н.Г. Старков

Руководитель:

профессор кафедры ТМС,  
д-р пед. наук, профессор

В.Б. Полуянов

Нормоконтролер:

доцент кафедры ТМС,  
канд. пед. наук, доцент

М.А. Черепанов

Екатеринбург 2016

## **РЕФЕРАТ**

Выпускная квалификационная работа содержит 65 листов машинописного текста, 25 таблиц, 13 рисунков, 25 использованных источников, 2 приложения на 7 листах.

Ключевые слова: МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ, МАГНЕТИЗМ, ИНДУКТИВНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ, МАГНИТНЫЙ КОНТРОЛЬ, НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ.

В выпускной квалификационной работе разработан проект методики измерения содержания железа ферромагнетиках индуктивным методом при помощи датчика МВ-5, исследованы технические и метрологические характеристики датчика МВ-5.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. ИНФОРМАЦИЯ О МАГНЕТИЗМЕ.....	8
1.1. Краткие сведения из теории ферромагнетизма.....	8
1.2. Исследование магнитных свойств вещества в переменных магнитных полях.....	14
1.3. Меры магнитных величин.....	18
1.3.1. Меры напряженности магнитного поля.....	18
1.3.2. Меры в виде систем с постоянными магнитами и электромагнитами.....	19
1.3.3. Меры магнитного потока.....	20
1.3.4. Меры магнитного момента.....	21
1.4. Индукционный метод определения характеристик магнитных материалов приборами непосредственной оценки.....	22
1.5.Обработка результатов измерений.....	23
1.5.1. Прямые однократные измерения.....	23
1.5.2. Прямые многократные измерения.....	24
2. РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ .....	26
2.1. Краткая характеристика ФГУП «УНИИМ» и АО «Карельский окатыш».....	26
2.2. Конструкция установки и средства измерения, использованные для исследований.....	29
2.3. Описание эксперимента, определяющего технические и метрологические характеристики датчика МВ-5.....	31
2.4. Рассмотрение возможности использования установки на конвейере.	41
2.5. Расчет коэффициентов перевода показаний средств измерений в процентное содержание железа в образцах.....	43
2.6. Методика измерения содержания железа в ферромагнетиках.....	47

2.7. Дополнение программы повышения квалификации, необходимой для допуска сотрудников к работе по методике измерения содержания железа в ферромагнетиках.....	48
2.7.1. Программа повышения квалификации «Поверка и калибровка средств электрических и магнитных».....	49
2.7.2. Анализ тематического плана программы повышения квалификации.....	49
2.7.3. Теоретическое занятие на тему «меры магнитных величин».....	52
2.7.4. Практическое занятие, ориентированное на освоение методики измерения содержания железа в ферромагнетиках.....	52
3. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ.....	54
3.1. Основные статьи затрат.....	54
3.2. Материальные затраты.....	55
3.3. Оплата труда.....	55
3.4. Амортизационные отчисления.....	56
3.5. Прочие расходы.....	57
3.6. Оценка стоимости разработки методики измерений.....	59
3.7. Расчет целесообразности разработки проекта.....	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	63
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	64
ПРИЛОЖЕНИЕ А – «Лист задания на дипломное проектирование».....	66
ПРИЛОЖЕНИЕ Б – «Методика измерения содержания железа в ферромагнетиках».....	67

## **СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ**

ВКР – выпускная квалификационная работа

ДПО – дополнительное профессиональное образование

МВИ – методика выполнения измерений

МИ – методика измерения

СИ – средства измерений

СКРП – система контроля рудного потока

ФГУП – федеральное государственное унитарное предприятие

## **ВВЕДЕНИЕ**

В связи с прогрессивным развитием техники возникает интерес к высокоточным методам контроля достоверности результатов измерения. В автомобильной, железнодорожной, металлургической, кабельной, химической, целлюлозно-бумажной, текстильной и деревообрабатывающей промышленности для получения качественного продукта необходимо контролировать производство на каждом этапе технологического процесса. Кроме того достоверные результаты измерения необходимы в процессе перехода между этапами технологических процессов.

При добыче полезных ископаемых, в частности железной руды, для дальнейшего восстановления железа, большую экономическую значимость играет отбор наиболее обогащённой руды уже на первых этапах добычи. В этом вопросе может помочь индуктивные методы контроля содержания железа в руде. Учитывая, что индуктивный метод контроля содержания железа является бесконтактным, рассматривается возможность его использования на конвейерной ленте при транспортировке руды.

В Уральский Научно-Исследовательский Институт Метрологии поступил заказ от предприятия «Карельский окатыш», входящего в состав горно-металлургической компании «Северсталь» и занимающегося производством железорудных окатышей, на исследование метрологических, технических характеристик и на разработку методики контроля процентного содержания железа в руде при помощи датчика МВ-5. Данный датчик хранился на одном из складов предприятия и не имел применения.

Целью работы является исследование метрологических, технических характеристик и разработка методики измерения для проведения испытаний в целях утверждения типа системы контроля рудного потока (СКРП), используемой для определения процентного содержания железа в железной руде на предприятии «Карельский окатыш».

В данной выпускной квалификационной работе был использован индуктивный способ определения железа в ферромагнетиках.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы объектом стало измерение содержания железа в ферромагнетиках, предметом – методика измерения содержания железа ферромагнетиках. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить конструкцию и принцип действия приборов для измерения магнитных характеристик;
2. Определить область и дистанцию намагничивания датчика МВ-5;
3. Провести испытания установки с образцами, у которых известно процентное содержание железа.
4. Рассчитать коэффициенты преобразования показаний вольтметра в процентное содержание железа в руде;
5. Рассмотреть возможность применения датчика МВ-5 на конвейере;
6. Рассчитать погрешность использования данной методики;
7. Разработать методику измерения содержания железа в ферромагнетиках при помощи датчика МВ-5;
8. Дополнить программу повышения квалификации, необходимой для допуска сотрудников к работе по методике измерения содержания железа в ферромагнетиках.



# 1. ИНФОРМАЦИЯ О МАГНЕТИЗМЕ

## 1.1. Краткие сведения из теории ферромагнетизма

Магнетизм – универсальное явление природы. От микромира до космоса – везде мы встречаемся с магнитными свойствами и процессами.

Количественной характеристикой магнетизма частицы является ее магнитный момент. Поскольку все электроны, протоны, нейтроны – элементарные носители магнитного момента, то и их комбинации – ядра атомов, электронные оболочки, атомы, молекулы и макроскопические тела – могут быть источниками магнетизма, то есть магнитные свойства присущи всем веществам [9].

Создаваемый внешним магнитным полем диамагнитный момент всегда отрицателен, и все вещества обладают диамагнетизмом. Если существует отличный от нуля результирующий собственный магнитный момент атома, то внешнее магнитное поле стремится ориентировать его вдоль своего направления. В результате возникает параллельный полю положительный магнитный момент, который называют парамагнитным. В таких веществах экспериментально всегда наблюдается разностный магнитный эффект между преобладающим парамагнетизмом и меньшим диамагнетизмом.

В некоторых веществах существует самопроизвольный (в отсутствие внешнего поля) порядок расположения атомных магнитных моментов. Такие вещества называют ферромагнетиками (если атомные моменты параллельны) и антиферромагнетиками (если антипараллельны, например, расположены в шахматном порядке) [15].

Намагниченность вещества  $J$  (векторная сумма магнитных моментов атомов, находящихся в единице объема) зависит от величины внешнего поля [18]:

$$J = k_M H, \tag{1}$$

где  $H$  – магнитное поле;

$k_M$  – магнитная восприимчивость (для диамагнетиков она отрицательна и очень мала;  $k_M \approx 10^{-6}$ ; для парамагнетиков положительна и равна приблизительно  $10^{-3} \dots 10^{-6}$ ; для ферромагнетиков  $k_M > 0$ , достигает большой величины, нелинейно зависит от поля  $H$ ).

Магнитные свойства материала определяются характером взаимодействия электронов и положительных ионов кристаллической решетки. Поэтому изменения химического и фазового состава материала и различия в структурном состоянии оказывают существенное влияние на основные характеристики, определяющие принадлежность вещества к определенному типу магнетиков (диа -, пара - или ферромагнетика).

Главная особенность ферромагнетиков – способность сильно намагничиваться даже в относительно слабых полях. Объясняется это тем, что они обладают самопроизвольной (спонтанной) намагниченностью отдельных участков. Такие участки называются областями спонтанной намагниченности, или доменами. Хотя каждый домен намагничен до насыщения, образец в целом не обладает магнитным моментом, так как магнитные моменты доменов направлены в разные стороны и компенсируют друг друга. Чтобы намагнитить образец, необходимо расположить его в намагничивающем поле. По мере увеличения поля будет повышаться и намагниченность, а вместе с ней и индукция  $B$  [17]:

$$B = \mu_0 (H + J), \quad (2)$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная, равна  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ .

Процесс намагничивания размагниченого образца графически представляется кривой (рисунок 1), называемой начальной кривой намагничивания. Кривая намагничивания имеет фундаментальное значение при описании магнитных свойств материала. Ее можно разделить на три

основных участка, или области, условные границы между которыми обозначены на рисунке.

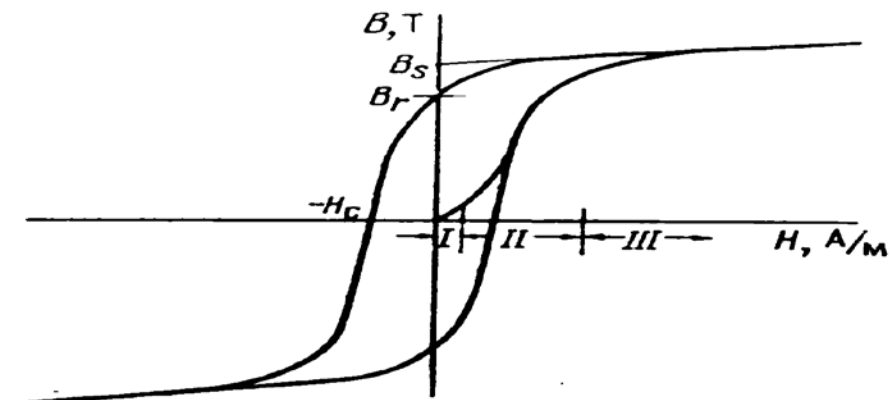


Рисунок 1 – Петля гистерезиса

На участке I кривая составляет с осью абсцисс угол, характеризуемый величиной начальной проницаемости

$$\mu_H = \left. \frac{dB}{dH} \right|_{H \rightarrow 0}. \quad (3)$$

Изменения индукции в этой области являются обратными. При уменьшении поля H значение индукции B становится равным (с незначительной погрешностью) первоначальному. Наклон кривой на участке II намного больше, изменение индукции здесь необратимо. Дифференциальная проницаемость

$$\mu_D = \frac{dB}{dH}. \quad (4)$$

Здесь дифференциальная проницаемость может в сотни раз превышать значение начальной и достигать величины порядка  $10^6$ . На участке III наклон кривой значительно меньше. Тангенс угла при бесконечном увеличении поля приближается к величине магнитной постоянной ( $\mu_D = \left. \frac{dB}{dH} \right|_{H \rightarrow \infty} \rightarrow \mu_0$ ), если на оси ординат откладывать B, и к нулю, если ординатой является J.

Физические процессы, протекающие при намагничивании ферромагнетика на этих трех участках, также различны. На участке I намагничивание происходит за счет обратимого смещения доменных границ на участке II - за счет необратимого смещения границ и обратимого вращения вектора намагниченности, в начале участка III – за счет необратимых процессов вращения. На участке III намагничивание ферромагнетика протекает значительно медленнее, чем на первом, и завершается достижением так называемого технического насыщения, численно равного спонтанной намагниченности. Дальнейшее повышение магнитного поля увеличивает величину намагничивания очень медленно (за счет парапроцесса).

Если напряженность внешнего поля сначала возрастает от нуля до некоторого максимального значения, а затем снижается, как показано на рисунке 1, то ход индукции представляется кривой, которая носит название петли гистерезиса. В том случае когда петля гистерезиса симметрична относительно начала координат, величина  $H_C$ , соответствующая  $B = 0$ , называется коэрцитивной силой, а величина индукции  $B_r$  при  $H = 0$  – остаточной индукцией. Как  $H_C$ , так и  $B_r$  характеризуют магнитные свойства материала. Важными магнитными параметрами являются также индукция (намагниченность) насыщения  $B_s$  ( $J_s$ ) и относительные начальная, дифференциальная и максимальная магнитные проницаемости ( $\mu_n$ ,  $\mu_d$ ,  $\mu_D$ ), используемые в статическом режиме неразрушающего контроля.

Если на ферромагнетик одновременно действует постоянное магнитное поле  $H$  и дополнительное  $\Delta H$ , то величина магнитной проницаемости ферромагнетика будет зависеть от направления и величины дополнительного поля  $\Delta H$ : если дополнительное поле совпадает по знаку с основным, магнитная проницаемость при достаточно малых  $\Delta H$  совпадает с дифференциальной проницаемостью по основной кривой; если  $\Delta H$  направлено противоположно полю  $H$ , то  $\mu_r = - \Delta B / - \Delta H$  называется реверсивной проницаемостью, которая соответствует минимальному

значению дифференциальной по частной петле гистерезиса с вершиной, имеющей координаты  $B_T$  и  $H_m$ .

При магнитном анализе можно использовать и такие характеристики, как потери энергии на перемагничивание  $W_h$  (площадь петли гистерезиса), поле  $H_{\mu m}$ , при котором относительная магнитная проницаемость принимает максимальное значение.

В слабом синусоидальном магнитном поле ( $H \sim H_m \sin \omega t$ ) магнитная индукция также изменяется по синусоидальному закону:

$$B \sim B_m \sin(\omega t + \varphi). \quad (5)$$

Магнитная индукция линейно возрастает с ростом  $H_m$ , но со сдвигом фаз на угол  $\varphi$ , величина которого определяется потерями энергии на перемагничивание в слабых переменных полях. При неразрушающем методе контроля в качестве параметров могут быть использованы амплитуда индукции  $B_m$  и сдвиг фаз  $\varphi$ . В сильных полях вследствие нелинейной зависимости  $B_m$  от  $H_m$  форма кривой индукции отличается от синусоидальной (при синусоидальном поле).

Кроме потерь энергии на перемагничивание, обусловленных гистерезисными явлениями, появляются дополнительные потери, обусловленные вихревыми токами, что приводит к изменению формы петли гистерезиса и ее параметров (коэрцитивной силы, остаточной индукции и площади петли). Петля гистерезиса в переменных полях в отличие от петли гистерезиса в постоянных называется динамической петлей гистерезиса, а геометрическое место вершин динамических петель всех частных циклов динамической кривой намагничивания [15].

Магнитные характеристики в переменных магнитных полях  $B_m$ ,  $B_r$ ,  $H_c$  отличаются от соответствующих характеристик в постоянных полях и также могут быть использованы для контроля механических свойств и структуры материала.

Для этих же целей пригодны и такие магнитные параметры при перемагничивании переменным полем, как тангенс угла магнитных потерь, добротность контура с магнитным сердечником из испытуемого материала, потери на гистерезис в области слабых или средних полей, потери на вихревые токи, магнитная вязкость и другие [15].

При одновременном воздействии намагничивающего постоянного поля  $H$  и перемагничивающего переменного поля  $H_{\sim}$  внутри симметричной петли гистерезиса наблюдаются смещенные несимметричные частные циклы. Характеристикой каждого из них служит величина средней магнитной проницаемости на частном цикле

$$\mu_{cp} = \frac{B_{\sim}}{H_{\sim}}. \quad (6)$$

Величина средней магнитной проницаемости является сложной функцией амплитуды напряженностей переменного  $H_m$  и постоянного  $H$  полей. Когда  $H_{\sim} \ll H$ , средняя магнитная проницаемость превращается в реверсивную:

$$\mu_{cp} = \mu_p = \lim_{H_{\sim} \rightarrow 0} \frac{B_{\sim}}{H_{\sim}}. \quad (7)$$

При намагничивании ферромагнетиков в импульсном поле в качестве магнитной характеристики принимают импульсную проницаемость

$$\mu_{и} = \frac{\Delta B_{и}}{\Delta H_{и}}, \quad (8)$$

где  $\Delta B_{и}$  и  $\Delta H_{и}$  – соответственно приращение индукции и напряженности импульсного поля, вызвавшего это приращение.

К сожалению, теория импульсного намагничивания развита недостаточно, и аналитические выражения, устанавливающие зависимость

импульсных магнитных характеристик от напряженности поля в импульсе, частоты повторения и длительности импульса, крутизна фронтов нарастания и спада и других параметров, практически отсутствуют даже для однородных полей [18].

## **1.2. Исследование магнитных свойств вещества в переменных магнитных полях**

Поведение ферромагнитных тел в периодически изменяющихся магнитных полях значительно отличается от поведения их в статических условиях. Даже в том случае, если магнитное поле изменяется бесконечно медленно, имеет место отставание намагниченности от напряженности магнитного поля. С ростом частоты магнитного поля этот процесс становится более заметным.

Аркадьев В.К., рассматривая поведение ферромагнетиков в переменных полях, впервые ввел понятие о комплексной магнитной проницаемости, об эффективных магнитных проницаемостях и разработал общие методы определения действительной и мнимой частей истинной магнитной проницаемости по измеренным значениям эффективных магнитных проницаемостей [17].

Если ферромагнитное вещество находится в периодически изменяющемся магнитном поле, то магнитное состояние его будет меняться по симметричной или динамической петле гистерезиса. Динамическая петля гистерезиса значительно отличается от петли, которая определяется в статических условиях. Для того чтобы однозначно получить магнитные характеристики вещества, необходимо знать, по какому закону изменяются индукция и напряженность магнитного поля. В том случае, если они представляют собой синусоидальные функции времени, динамическая петля будет иметь форму эллипса. Эта форма петли с увеличением амплитуды индукции начинает изменяться и при средних значениях ее становится

похожей на обычную петлю гистерезиса. Для получения полной характеристики поведения ферромагнитного вещества в переменном магнитном поле нужно построить семейство динамических петель, геометрическое место вершин которых дает динамическую кривую намагничивания (индукции). Отношение максимальной индукции  $B_m$  к максимальному значению напряженности поля  $H_m$  является амплитудной проницаемостью ферромагнетика в переменном магнитном поле:

$$\mu = \frac{B_m}{H_m}. \quad (9)$$

Ввиду того что аналитически выразить динамические петли трудно, Аркадьев В.К. предложил их заменять эквивалентным эллипсом с одинаковой площадью. Если напряженность магнитного поля и индукции изменяются по синусоидальному закону

$$H = H_m \sin(\omega t), \quad (10)$$

$$B = B_m \sin(\omega t - \delta), \quad (11)$$

зависимость между  $B$  и  $H$  выражается кривой эллиптической формы, при этом уравнения (10) представляют собой параметрическую форму уравнения эллипса. Изменение  $B$  отстает от изменения  $H$  на угол  $\delta$ . Выражение (11) можно записать в виде двух составляющих:

$$B = B_{m1} \sin \omega t - B_{m2} \cos \omega t, \quad (12)$$

где  $B_{m1} = B_m \sin \delta, B_{m2} = B_m \cos \delta$  есть амплитуды этих составляющих.

Для характеристики поведения ферромагнитных веществ в переменных магнитных полях Аркадьев В.К. ввел представление о комплексной магнитной проницаемости



$$\mu = \mu_1 - j\mu_2, \quad (13)$$

где  $\mu_1$  – «упругая» проницаемость, связанная с обратимыми процессами при намагничивании,

$\mu_2$  – «вязкая» проницаемость, обусловленная процессами поглощения.

Упругая проницаемость и вязкая проницаемость определяются соотношением

$$\mu_1 = \frac{B_{m1}}{H_m}, \quad (14)$$

$$\mu_2 = \frac{B_{m2}}{H_m}. \quad (15)$$

Потери энергии при намагничивании переменным магнитным полем определяются тангенсом угла потерь или тангенсом угла отставания индукции от напряженности магнитного поля:

$$tg\delta = \frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{B_{m2}}{B_{m1}}. \quad (16)$$

Проницаемости  $\mu_1$  и  $\mu_2$  имеют сложную частную зависимость, которая обусловлена различными процессами намагничивания в переменных магнитных полях. Магнитные характеристики ферромагнитных веществ в переменных полях зависят не только от физических свойств материала, но и от формы и размеров образцов, частоты и вида кривой  $H_{(t)}$  переменного поля. Если глубина проникновения магнитного поля меньше толщины образца, то говорят о действующих или средних значениях индукции и проницаемости. Поэтому, когда определяют магнитные характеристики в переменном магнитном поле, фиксируют условия, при которых они были определены. Большинство используемых в настоящее время схем основано на индукционном методе измерения характеристик в переменных полях.

С помощью этих схем, как правило, определяют электрические величины, по значениям которых рассчитывают магнитные характеристики.

Напряженность магнитного поля находят по действующему значению тока в намагничивающей обмотке:

$$H_{\text{дейст}} = \frac{0,2\omega i}{R}, \quad (17)$$

где  $\omega$  – число витков намагничивающей обмотки,

$R$  – радиус кольца (мм),

$i$  – действующее значение тока (А).

Для расчета амплитудной проницаемости используется формула вида:

$$\mu = \frac{B_m}{H_{\text{дейст}}\sqrt{2}}, \quad (18)$$

где  $B_m$  – максимальная индукция.

Иногда для вычисления амплитудной проницаемости определяют индуктивность образца  $L$  по формуле

$$L = \frac{V}{\omega i}, \quad (19)$$

где  $V$  и  $i$  – действующие значения напряжения и силы тока,

$\omega$  – круговая частота.

Проницаемость рассчитывают по соотношению:

$$\mu = \frac{Ll}{4\pi\omega^2 S} 10^9, \quad (20)$$

где  $l$  – длина образца (см),

$S$  – сечение образца (см<sup>2</sup>),

$\omega$  – число витков намагничивающей обмотки.

Кривую индукции в переменных полях можно определять методом амперметра и вольтметра, потенциометрическими и мостовыми методами [4].

### **1.3. Меры магнитных величин**

Магнитные поля и магнитные свойства материалов характеризуются напряженностью магнитного поля или магнитной индукцией, магнитным потоком и магнитным моментом. Для обеспечения единства измерений в области магнитных явлений перечисленные единицы магнитных величин воспроизводятся вещественно в виде государственных эталонов и образцовых мер, от которых значения единиц передаются рабочим мерам и приборам в соответствии с утвержденными поверочными схемами.

В процессе передачи значения единицы происходит накопление погрешностей, что также отражается в поверочной схеме (для каждого поверяемого прибора или меры указана возможная предельная погрешность  $\delta_{пр}$ , обусловленная многоступенчатой передачей значения единицы от эталона). Погрешность воспроизведения единицы напряженности поля с помощью расчетного эталона составляет 0,01%, а единицы магнитного потока 0,1% [5].

#### **1.3.1. Меры напряженности магнитного поля**

Все меры напряженности магнитного поля (индукции) могут быть разделены на две группы: меры в виде катушек, по обмоткам которых протекает электрический ток, и меры в виде постоянных магнитов. Основной характеристикой таких мер является их постоянная. Под постоянной понимается значение соответствующей магнитной величины (напряженности поля и индукции) в центре рабочего пространства меры. Когда мера представляет собой индукционную катушку, то значение соответствует току в обмотке, равному 1 А, то есть

$$K_H = \frac{H}{I} \text{ либо } K_B = \frac{B}{I}. \quad (21)$$

Постоянные меры в виде катушек определяются как расчетным, так и экспериментальным путем, постоянные меры в виде постоянных магнитов и электромагнитов – только экспериментально. Расчетные методы обычно применяются в тех случаях, когда геометрические размеры катушек могут быть определены с высокой точностью. В частности, расчетные методы используются при создании эталонов магнитных величин в виде однослойных намагничивающих катушек.

Обычно к образцовым мерам напряженности магнитного поля предъявляется требование не только высокой точности определения их постоянных и большой стабильности последних во времени, но и обеспечение достаточно большого рабочего объема однородного поля. Этим требованиям наилучшим образом удовлетворяют катушки [3].

### **1.3.2. Меры в виде систем с постоянными магнитами и электромагнитами**

Меры напряженности магнитного поля (индукции) в виде систем с постоянными магнитами или электромагнитами чаще всего представляют собой магнитную цепь из магнитномягкого материала, обладающего индукцией насыщения не менее 2 Тл. В качестве источника магнитодвижущей силы в цепи используется постоянный магнит или охватывающие магнитопровод витки с током. Напряженность поля в зазоре этой системы зависит от материала и размеров магнита и магнитопровода, которым замкнут магнит, а также от размеров воздушного зазора.

Естественно, что меры напряженности поля в виде постоянных магнитов воспроизводят лишь одно значение напряженности поля (индукции). Простейшей мерой подобного рода является магнитная система магнитоэлектрического прибора. Эти меры можно использовать и без

источников питания, что важно, например, в полевых условиях работы. Обычно индукция в зазорах мер с постоянными магнитами составляет 0,1 – 0,5 Тл.

В практике магниторазведки полезных ископаемых в качестве мер напряженности магнитного поля применяют также меры магнитного момента, так как, зная магнитный момент цилиндрического или эллипсоидального магнита, можно приближенно рассчитать напряженность поля в точках вдоль его оси на расстояниях, значительно превышающих размеры магнита.

В последние годы все шире применяются электромагниты со стабилизацией поля методом ядерного резонанса. Стабильность напряженности поля таких мер до нескольких десятитысячных процента позволяет успешно применять их как для проверки аппаратуры, так и при различных исследованиях, для проведения которых необходимо знать индукцию магнитного поля с высокой точностью [2].

### 1.3.3. Меры магнитного потока

В подавляющем большинстве случаев меры магнитного потока являются сочетанием мер напряженности магнитного поля и измерительных катушек. Магнитное поле, создаваемое первичной катушкой (мерой напряженности поля), пронизывает витки измерительной катушки (вторичной). Возникающее потокосцепление при токе в 1 А в намагничивающей катушке называется постоянной меры магнитного потока. Предполагая, что в объеме однослойной измерительной катушки поле первичной однородно, потокосцепление можно подсчитать по формуле:

$$\psi = \mu_0 H_{\perp} K_{SW}, \quad (22)$$

где  $H_{\perp}$  – составляющая напряженности поля, перпендикулярная к площади  $S$  витка измерительной катушки;

$K_{sw}$  – постоянная измерительной катушки.

Соответственно постоянная меры магнитного потока

$$K_{\Phi} = \frac{\psi}{I}, \quad (23)$$

где  $\psi$  – функция тока,

$l$  – длина витка измерительной катушки в мм.

В тех случаях, когда в объеме измерительной катушки неоднородно, следует определить интегральное значение его напряженности по площади  $S$  витка измерительной катушки. Если при этом измерительная катушка многослойна и толщина ее обмотки  $2\xi$ , то необходимо учитывать потокосцепление с витками разной площади.

Наибольшее значение потокосцепления при заданном токе получают, расположив измерительную катушку согласно с намагничивающей. В этом случае на результат расчета постоянной влияет составляющая напряженности поля, направленная вдоль оси намагничивающей катушки [3].

#### 1.3.4. Меры магнитного момента

Различают два типа мер магнитного момента: катушки, обтекаемые током, и постоянные магниты в форме эллипсоидов вращения и цилиндров.

Катушки могут быть намотаны на каркас цилиндрической или прямоугольной формы. Если известна постоянная катушка  $K_{sw}$  то, зная силу тока в обмотке, можно подсчитать магнитный момент по формуле

$$M = K_{sw}I, \quad (24)$$

Вектор магнитного момента направлен перпендикулярно к плоскости витков катушки, то есть вдоль ее оси так как что наблюдателю, стоящему вдоль вектора, направление тока в катушке представляется соответствующим направлению движения часовой стрелки. Если площадь сечения каркаса

катушки (меры магнитного момента) сравним с площадью сечения провода обмотки, то высокую точность расчета получить не удастся. Обычно постоянную катушки определяют экспериментально. Меры магнитного момента в виде катушек с током не всегда удобны, так как для них требуются источники питания. Поэтому в полевых условиях пользуются мерами в виде постоянных магнитов.

Исходной мерой магнитного момента является группа из девяти эллипсоидальных магнитов. Образцовые и рабочие меры магнитного момента изготавливают обычно в виде эллипсоидов или цилиндров. Магнитный момент таких магнитов, как правило, определяется экспериментально. Однако материал и размеры магнита можно рассчитать, хотя и приближенно [18].

Магнитный момент связан с остаточной намагниченностью, поэтому задаются объемом  $V$  магнита, требуемой величиной магнитного момента  $M$  и рассчитывают величину остаточной намагниченности  $J_d$  магнита по формуле:

$$J_d = \frac{M}{V}. \quad (25)$$

#### **1.4. Индукционный метод определения характеристик магнитных материалов приборами непосредственной оценки**

В последние годы все больший интерес вызывают получение магнитных характеристик материалов в переменных полях широкого диапазона частот. Наиболее простым и распространенным методом определения таких характеристик является индукционный с использованием приборов непосредственной оценки. Индукционный метод сводится к измерению э.д.с. в измерительной обмотке, и последующему расчету изменения потокосцепления. Соотношение между изменением потока и э.д.с. математически выражается формулой, полученной в результате

интегрирования выражения э.д.с. электромагнитной индукции  $e = -\omega \frac{d\varphi}{dt}$  за полпериода от момента  $t_1$  до  $t_1 + \frac{T}{2}$ :

$$E_{ср t_1+t_1+T/2} = \frac{2\omega}{T} (\Phi_{t_1} - \Phi_{t_1+T/2}) \quad (26)$$

## 1.5. Обработка результатов измерений

### 1.5.1. Прямые однократные измерения

Прямые однократные измерения являются основным видом технических измерений и проводятся в том случае, когда ожидается пренебрежимо малая (по сравнению с инструментальной) случайная погрешность.

При однократных измерениях за измеренное значение величины следует принять результат одного измерения

$$\bar{x} = x_1. \quad (27)$$

По инструментальной погрешности  $\Delta_{ux}$  средства измерения следует определить абсолютную погрешность измерения

$$\Delta_x = \Delta_{ux}, \quad (29)$$

Относительная погрешность вычисляется по формуле

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta_x}{x} 100\%, \quad (29)$$

Используя правила представления результатов измерения, определить количество значащих цифр в абсолютной и относительной погрешностях, и в значении измеряемой величины.



Результат измерений для доверительной вероятности  $\alpha = 1$  записать в виде

$$x = (\text{ИЗ} \pm \text{АП})\text{ЕИ}; \varepsilon_x = \text{ОП}\%; p = 0,95, \quad (30)$$

где ИЗ – измеренное значение;  
АП – абсолютная погрешность;  
ЕИ – единица измерений;  
ОП – относительная погрешность;  
Р – доверительная вероятность.

### 1.5.2. Прямые многократные измерения

Измерения встречаются двух видов, такие как: однократные и многократные. Однократные измерения проводить проще и дешевле. Но многократные дают более точный результат, так как они уменьшают влияние случайных погрешностей. При многократных измерениях за измеренное значение величины принимается среднее арифметическое из всех полученных отдельных измерений. Порядок расчета погрешностей для многократных измерений следующий:

1. Провести  $n$  измерений  $x_i$  измеряемой величины  $x$ :

$$x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n; \quad (31)$$

Количество измерений определяется в процедуре измерений.

2. Вычислить среднее арифметическое значение измеряемой величины:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + \dots + x_i + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (32)$$

3. Вычислить оценку среднего квадратического отклонения (СКО) результата измерения:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}, \quad (33)$$

4. Рассчитать доверительный интервал случайной погрешности (случайную погрешность):

$$\Delta_{\bar{x}} = t_{p,n} S_{\bar{x}}, \quad (34)$$

где  $t_{p,n}$  – коэффициент Стьюдента, который учитывает требуемую доверительную вероятность  $\rho$  и количество проведенных измерений  $n$ , на основании которых вычислена величина  $S_x$ .

Для технических измерений принята доверительная вероятность  $\rho = 0,95$ . С такой же доверительной вероятностью проводятся расчеты погрешностей многократных измерений в лабораторных работах.

5. Вычислить относительную погрешность:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta_x}{x} 100\%, \quad (35)$$

6. Используя правила представления результатов измерения, определить количество значащих цифр в абсолютной и относительной погрешности, и в значении измеряемой величины.

## **2. РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ**

### **2.1. Краткая характеристика ФГУП «УНИИМ» и АО «Карельский окатыш»**

Уральский Научно-Исследовательский институт метрологии – один из 7 метрологических институтов России, основан в 1942 году на базе ВНИИМ им. Менделеева. Институт осуществляет фундаментальные и прикладные исследования и разработки направленные на формирование и реализацию государственной научно-технической политики по обеспечению единства измерений в стране [5].

ФГУП «УНИИМ» имеет статус федерального государственного унитарного предприятия с централизованным управлением под руководством директора и осуществляет свою деятельность на основании Устава ФГУП «УНИИМ».

Основные виды деятельности института осуществляются на основе свидетельств и аттестатов об аккредитации или лицензировании такой деятельности, а также в хранении и содержании 9 государственных эталонов единиц физических величин.

Основные направления деятельности ФГУП «УНИИМ»: хранение, исследование и совершенствование эталонов и установка высшей точности; исследование и разработка средств измерений, в том числе стандартных образцов; создание нормативной документации, разработка, аттестация и утверждение; передача размеров единиц; аккредитация метрологических служб; аттестация методик выполнения измерений; сертификация металлов и промышленной продукции и многое другое.

Институт участвует в работах по формированию международной базы данных по калибровочным и измерительным возможностям в тех областях и видах измерений, в которых имеются преимущества и достижения и поэтому

именно в этих областях измерений обеспечивает функционирование Системы качества в соответствии с международными требованиями при испытаниях, калибровках и поверке средств измерений [11].

Структура УНИИМ включает научные отделы и лаборатории, выполняющие теоретические и экспериментальные работы. В составе института 7 отделов, практически в каждом отделе находится несколько лабораторий. За каждой из них закреплен свой заведующий. Администрацию института представляют директор, его заместители, главный инженер, главный бухгалтер, ученый секретарь и помощник директора. Деятельность института метрологии оценивается по двадцати научным показателям. Среди них статьи, публикации, патенты, внедрение изобретений, учебная деятельность [14].

Лаборатория метрологии магнитных измерений и неразрушающего контроля образована с целью выполнения функций, возложенных на государственный научный метрологический институт в соответствии с Федеральным законом «Об обеспечении единства измерений» № 102-ФЗ.

Лаборатория в своей деятельности руководствуется тематическим планом института, директивными документами Росстандарта, приказами и распоряжениями по ФГУП «УНИИМ», стандартами организации и положением о «УНИИМ». На лабораторию возлагается выполнение функций, закрепленных за институтом в соответствии с Уставом института и аттестатами аккредитации.

Основными задачами лаборатории являются: совершенствование, содержание, аттестация, сличение и применение государственного первичного эталона единиц мощности магнитных потерь ГЭТ 198-2011; передача единиц величин от государственного первичного специального эталона при испытаниях, поверке и калибровке средств измерений, аттестации методик (методов) измерений в соответствии с областью аккредитации института; участие в подготовке и реализации мероприятий, включенных в тематический план института, федеральные целевые

программы и стратегию развития института; разработка и исследование стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов в соответствии со специализацией лаборатории; разработка и актуализация базовых комплексов нормативных документов по видам измерений, закрепленных за лабораторией; проведение обязательной метрологической экспертизы конструкторской и (или) технологической документации на СИ в целях оформления (продления срока действия) свидетельства об утверждении типа СИ; испытания средств измерений в целях утверждения типа и внесения в Госреестр средств измерений в соответствии со специализацией; сертификация средств измерений в системе добровольной сертификации СИ; аттестация испытательного оборудования; разработка национальных и межгосударственных стандартов и рекомендаций; участие в работе ТК по стандартизации, участие в научных конференциях, симпозиумах, семинарах, проводимых Росстандартом и другими организациями, в том числе международными в области обеспечения единства измерений; подготовка и проведение семинаров, совещаний по научной тематике отдела; подготовка и опубликование результатов исследований в соответствии со специализацией отдела, в том числе в научных журналах с Российским индексом научного цитирования; подготовка и защита кандидатских и докторских диссертаций [11].

«Карельский окатыш» расположен в Республике Карелия на северо-западе России. До 1993 года назывался Костомукшским горно-обогатительным комбинатом. Горные работы ведутся с 1982 года на базе Костомукшского железорудного месторождения (запасы железной руды составляют 1,15 млрд. тонн), которое включает железистые кварциты, кристаллические сланцы различного состава и геллефлинты. Кроме того, в июле 2001 года компания получила лицензию на право пользования недрами с целью добычи железных руд Корпангского месторождения сроком на 20 лет (расположено в 4–5 км к северу от Костомукшского месторождения).

В марте 2007 года начата добыча и переработка железной руды Корпангского месторождения (запасы оцениваются в 320 млн. тонн.).

Предприятие производит железорудные окатыши с содержанием железа 65–66%, являющиеся продукцией с высокой добавленной стоимостью, так как они могут использоваться непосредственно в доменной печи без промежуточной агломерации. По физико-химическим и металлургическим свойствам костомукшские окатыши соответствуют мировым стандартам качества [13].

## **2.2. Конструкция установки и средства измерения, использованные для исследований**

Приступая к выполнению работы, первоначально был выполнен сбор установки. Установка, измеряющая содержание железа в ферромагнетиках индуктивным способом, состоит из: Датчика МВ-5(рисунок 2), который представляет собой коробку, содержащую 2 электромагнитные катушки (намагничивающей и измерительной), и корпуса со схемами (рисунок 3), включающий намагничивающий элемент, нагревающий элемент. В корпусе выведены переключатели (внутреннего нагрева и полярности тока). Перед началом работы необходимо нагреть установку, включив внутренний нагрев на 15 минут, после этого можно приступать к работе.



Рисунок 2 – Датчик МВ-5



Рисунок 3 – Корпус со схемами

К датчику было подключено следующее оборудование:

1. Мультиметр GDM-8246 – для снятия показаний магнитного поля.
2. Амперметр Flux-303 – для контроля тока в намагничивающей области.
3. Тесламетр ТХ-4 – для исследования магнитного поля (поля которое создает датчик).

### 2.3. Описание эксперимента, определяющего технические и метрологические характеристики датчика МВ-5

После сбора установки был измерен магнитный фон. Следующим этапом определения технических и метрологических характеристик датчика МВ-5 являлось измерение однородности магнитного поля. Перемещая по поверхности датчика установки датчик мультиметра и создавая разные уровни высоты (7 уровней высоты создаются при помощи резиновых дисков, высота каждого диска 11мм), была измерена величина тока, создаваемого магнитным полем, позволяющая исследовать однородность магнитного поля, создаваемого датчиком МВ-5, результаты измерений представлены в таблицах 1 – 7, где строки X1, X2...XN указывают на положение датчика мультиметра по длине датчика МВ-5, а столбики Y1, Y2...YN – на положение поперёк датчика. На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что измерительная обмотка в датчике проходит перпендикулярно по центру датчика, так как значения силы тока, измеряемые амперметром, в средней плоскости не на много превышало значение нуля.

По полученным значениям для каждого уровня были построены графики (рисунки 4 – 10), позволяющие наглядно представить однородность магнитного поля, по каждому слою. По оси ординат значения мультиметра в мА, а в горизонтальной плоскости отмечены координаты точек, ось Y указывает на ряды, ось X – на строки. расстояние между рядами не изменялось и имело значение  $\frac{3}{4}$  диаметра датчика мультиметра, а именно 29 мм, а расстояние между точками в длину изменялось, для выявления зависимостей. На базовом уровне расстояние между точками составляло  $\frac{1}{2}$  диаметра датчика, на последнем уровне 1 диаметр.



Таблица 1 – Значение поля в точке плоскости слоя на базовом уровне

Координаты измеряемой точки	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
X1	5,8	14,1	24,5	32,1	20	8
X2	120	300	390	600	370	230
X3	300	700	1100	1300	1300	490
X4	400	1650	2100	2100	550	430
X5	343	1080	1500	1600	1400	360
X6	150	260	1000	1750	850	110
X7	40	14	4	130	270	18
X8	50	200	400	460	20	12
X9	200	850	1820	1000	200	100
X10	275	1700	2100	2000	670	340
X11	187	1500	1500	1200	1607	514
X12	220	700	400	2086	1326	500
X13	60	190	100	600	775	250
X14	15	50	21	130	167	61

### Базовый уровень

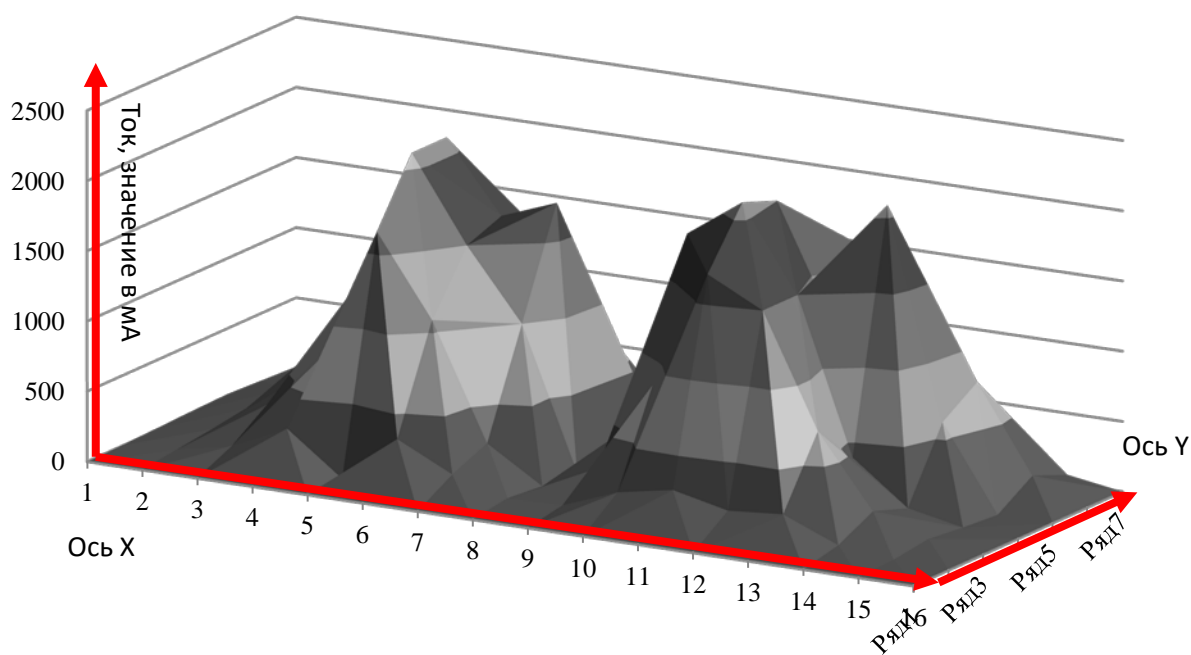


Рисунок 4 – Распределение магнитного поля на базовом уровне

Таблица 2 – Значение поля в точке плоскости слоя с одной подложкой

Координаты измеряемой точки	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
X1	18	30,8	47,7	55,4	48	26
X2	67	80	140	154	100	50
X3	185	300	440	423	292	100
X4	183	651	1000	957	753	270
X5	147	590	700	100	40	381
X6	110	31	100	480	276	300
X7	20	150	220	57	40	105
X8	63	472	700	238	416	16
X9	168	666	919	812	887	190
X10	206	162	140	800	876	360
X11	74	613	1000	987	700	150
X12	204	356	361	566	380	320
X13	125	177	117	373	226	180
X14	16	30	50	55	40	25

### 1 подложка

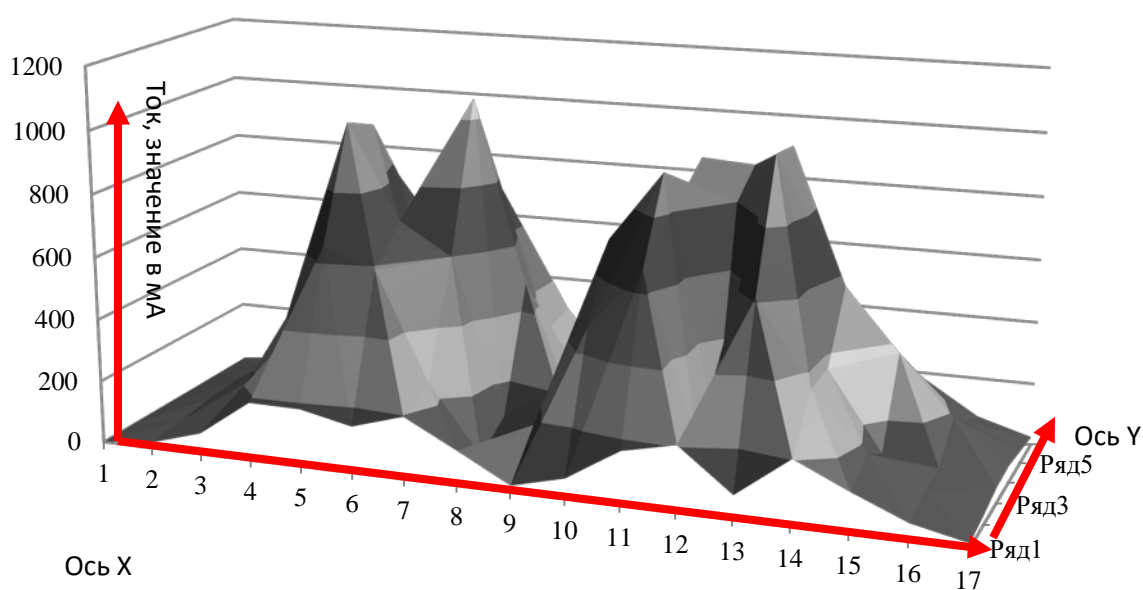


Рисунок 5 – Распределение магнитного поля с одной подложкой

Таблица 3 – Значение поля в точке плоскости слоя с двумя подложками

Координаты измеряемой точки	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
X1	24	40,9	63	70	73	60
X2	60	120	170	175	130	83
X3	100	300	500	530	430	170
X4	150	500	700	700	530	185
X5	150	500	670	660	500	170
X6	130	300	460	450	350	160
X7	5	23	30	36	18	12
X8	111	270	400	460	410	200
X9	135	450	620	660	500	230
X10	170	460	700	740	550	280
X11	86	240	300	300	260	150
X12	24	40	60	70	62	35

## 2 подложки

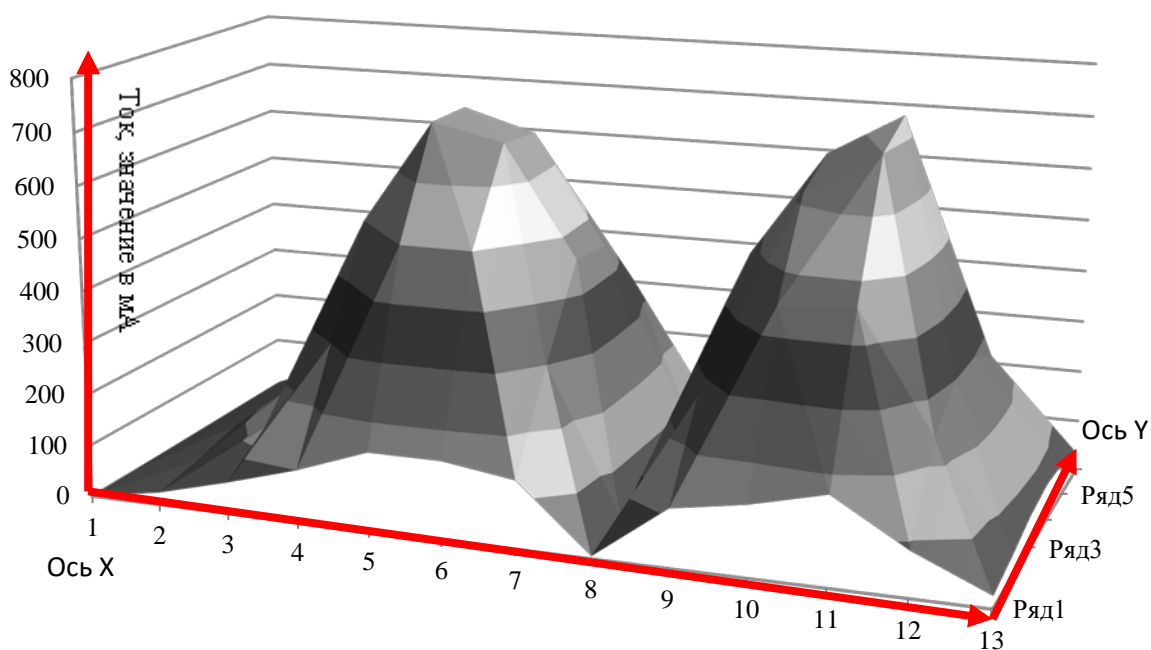


Рисунок 6 – Распределение магнитного поля с двумя подложками

Таблица 4 – Значение поля в точке плоскости слоя с тремя подложками

3 подложки						
Координаты измеряемой точки	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
X1	31	60	76	78	60	35
X2	95	200	250	250	184	84
X3	130	270	415	450	380	170
X4	112	300	400	415	380	160
X5	23	36	50	59	50	20
X6	214	212	295	350	250	140
X7	112	300	400	415	380	160
X8	39	65	80	81	67	41

### 3 подложки

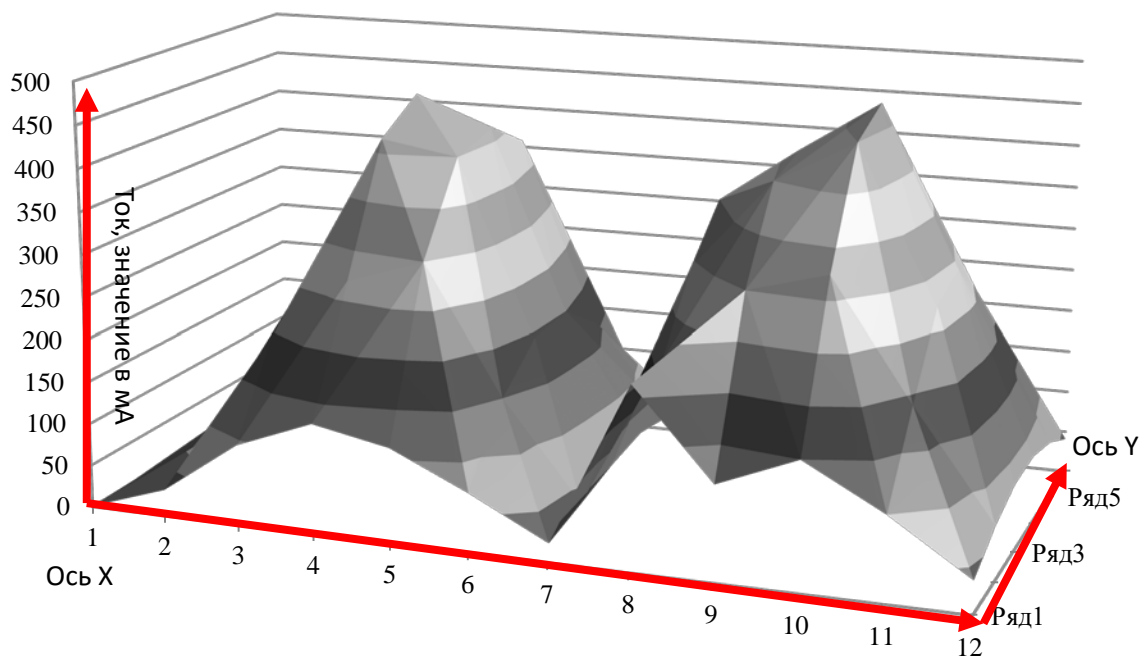


Рисунок 7 – Распределение магнитного поля с тремя подложками

Таблица 5 – Значение поля в точке плоскости слоя с четырьмя подложками

Координаты измеряемой точки	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
X1	30	54	75	78	66	43
X2	84	180	230	228	170	100
X3	80	170	225	226	180	107
X4	80	174	233	235	170	89
X5	12	12	13	22	20	8
X6	80	170	225	226	180	107
X7	93	170	250	270	240	125
X8	40	65	80	80	65	39

### 4 подложки

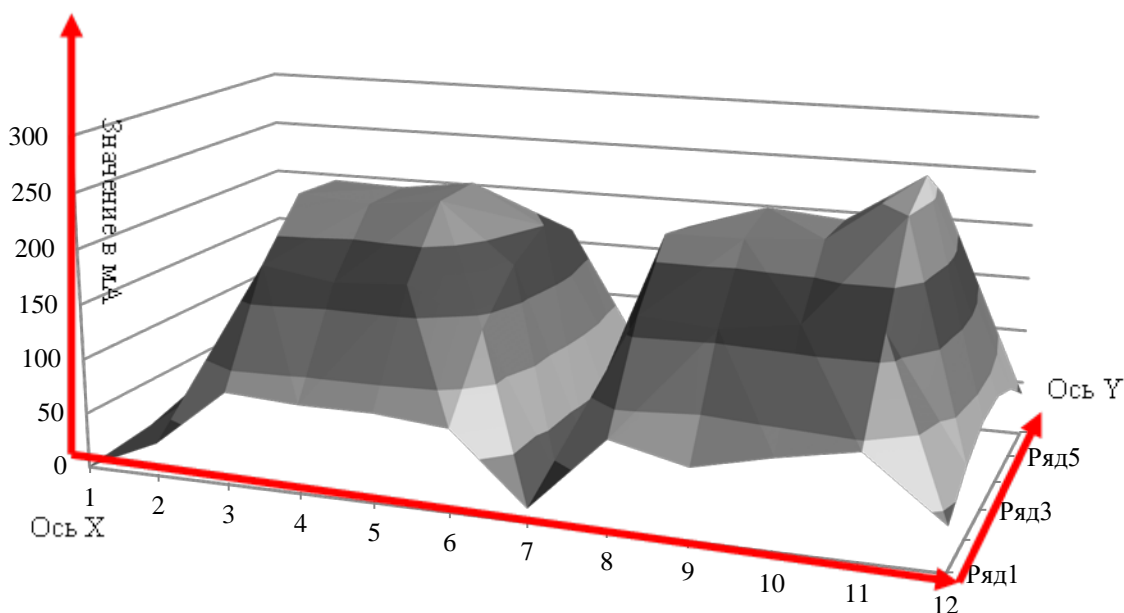


Рисунок 8 – Распределение магнитного поля с 4 подложками

Таблица 6 – Значение поля в точке плоскости слоя с пятью подложками

Координаты измеряемой точки	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
X1	36	57	72	76	60	40
X2	78	150	198	195	140	80
X3	70	125	160	160	135	74
X4	73	125	185	193	150	78
X5	1	10	11	16	5	2
X6	70	140	190	193	156	84
X7	73	125	185	193	150	78
X8	84	165	220	220	180	83
X9	39	60	70	72	60	42

### 5 подложек

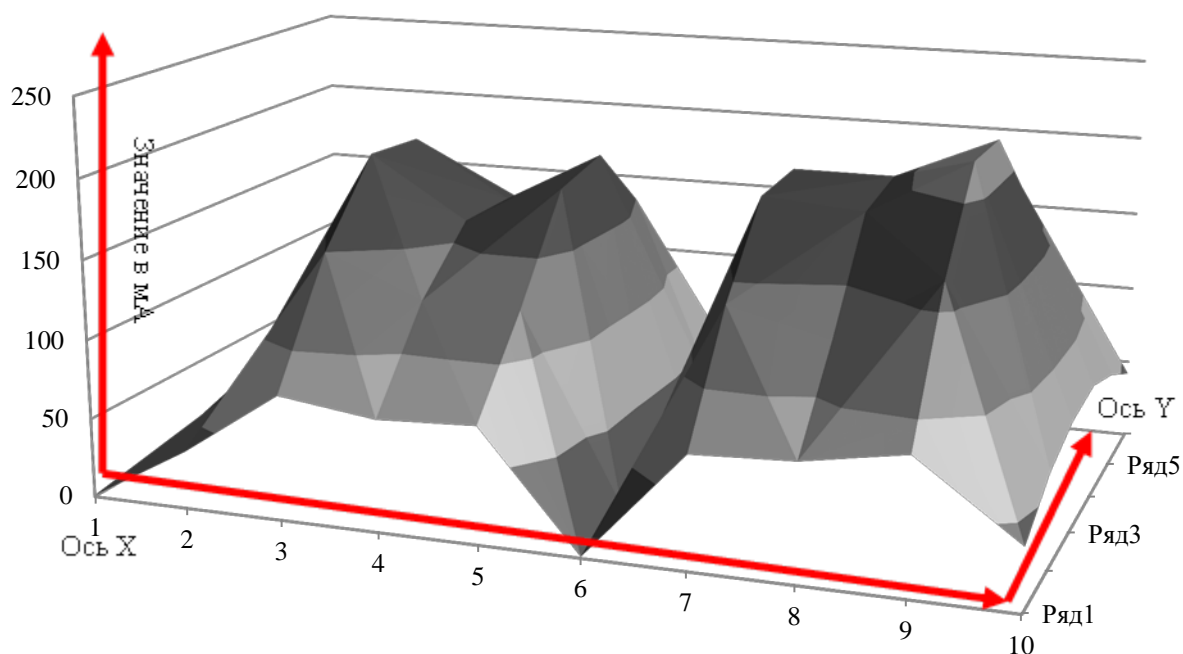


Рисунок 9 – Распределение магнитного поля с 5 подложками

Таблица 7 – Значение поля в точке плоскости слоя с шестью подложками

Координаты измеряемой точки	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
X1	33	49	65	69	57	39
X2	55	105	135	130	106	60
X3	45	97	123	122	95	55
X4	9	13	14	12	8	5
X5	55	105	121	135	115	60
X6	60	100	130	135	110	70
X7	65	131	150	160	130	75
X8	36	60	69	70	60	38

### 6 подложек

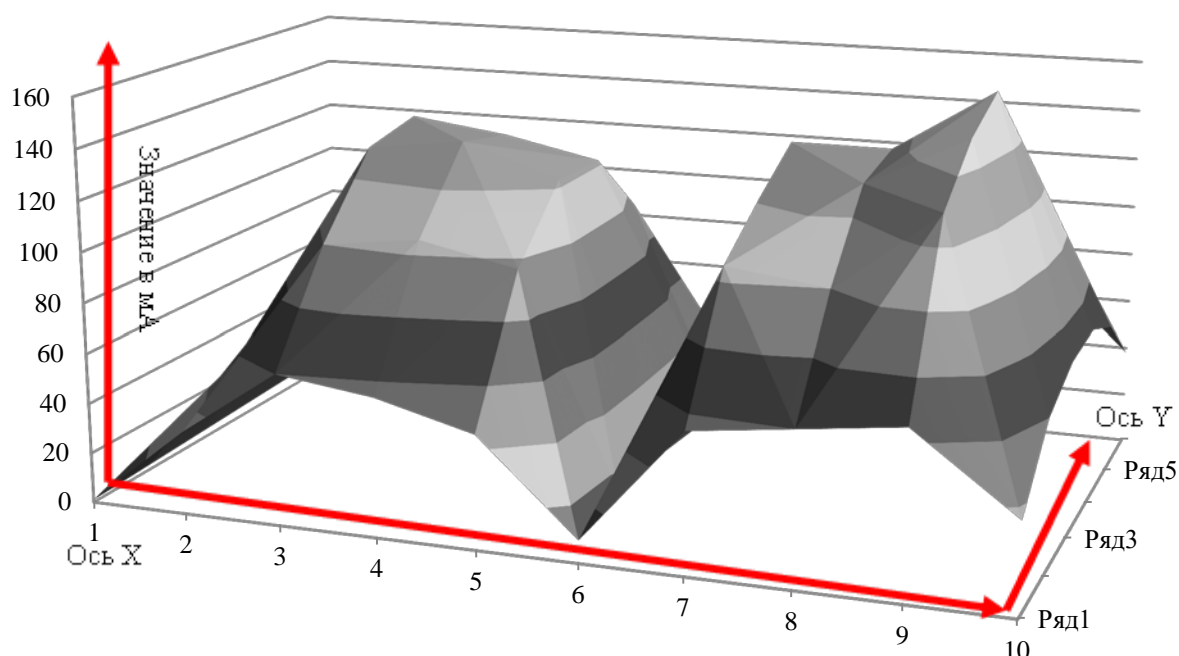


Рисунок 10 – Распределение магнитного поля с 6 подложками

Максимальное значение, которое достигает создаваемое магнитное поле, находится на базовом уровне и составляет 2100 мА или 2,1 ампера.

Далее была проделана аналогичная работа, но уже с плоским образцом (рисунок 11) для определения скин-эффекта – физического явления, заключающегося в неоднородном распределении плотности переменного тока по сечению проводника: она достигает наибольшего значения у его поверхности и уменьшается с глубиной [9]. Эти параметры необходимы для

нахождения оптимального расстояния от объекта измерения до датчика. Плоский образец представляет собой полиэтиленовый пакет, содержащий железный агломерат, процентное содержание железа в котором известно. Образец шириной 230 мм, что позволяет покрыть всю ширину датчика, длиной 100 мм и высотой 1 мм, имеет массу 300 гр. В ходе эксперимента образец перемещался по поверхности датчика в 5 позиций. В каждой из позиций на 5 уровнях в направлениях тока 1 (прямой) и 2 (обратный). Результаты представлены в таблице 8.



Рисунок 11 – Плоский образец



Таблица 8 – Результаты измерения плоского образца

Слой	Координаты	Ток 1	Ток 2	Напряженность магнитного поля
0	1	189,4	12270	12080,6
	2	12330	12270	60
	3	12330	92	12238
	4	12330	12270	60
	5	189	12270	12081
1	1	189	12280	12091
	2	12340	12280	60
	3	12340	2,6	12337,4
	4	12330	12280	50
	5	189	12280	12091
2	1	189	12280	12091
	2	10470	10700	230
	3	12340	2,6	12337,4
	4	10200	10500	300
	5	189	12280	12091
3	1	189	7720	7531
	2	5740	2530	3210
	3	10500	0	10500
	4	5570	3540	2030
	5	189	9100	8911
4	1	188,6	3300	3111,4
	2	2700	740	1960
	3	5600	2,6	5597,4
	4	2800	1530	1270
	5	188,5	4330	4141,5

График результатов представлен на рисунке 12, где по оси X – уровни высоты, Y – напряженность магнитного поля. На данном графике можно заметить, что начиная с 3 уровня происходит спад значений плотности переменного тока, что обуславливается недостатком массы образца. С образцом, вес которого 2300 граммов спад значений начинается с 4 уровня.

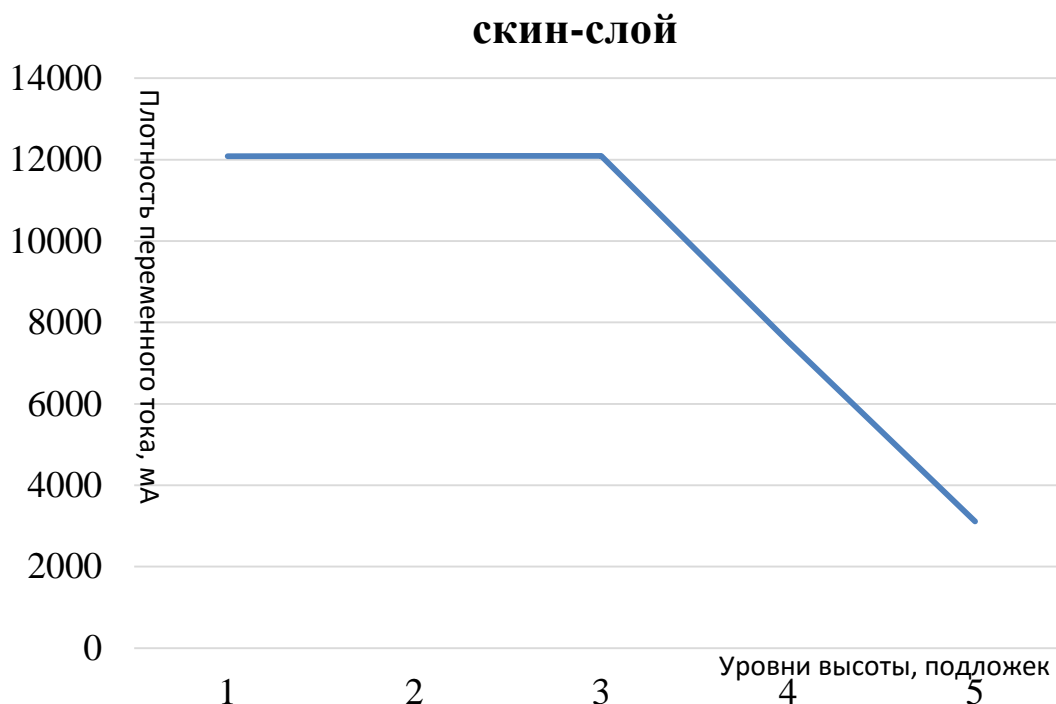


Рисунок 12 – Зависимость напряженности магнитного поля от высоты

#### **2.4. Рассмотрение возможности использования установки на конвейере**

Датчик МВ-5 был установлен на конвейер под транспортёрной лентой, при помощи деревянных реек для исключения магнитного фона конструкции. Расположение представлено на рисунке 13.



Рисунок 13 – Расположение датчика на конвейере

Расстояние от поверхности датчика до верхней поверхности транспортной ленты 40мм. Высота датчика 150 мм, ширина – 230 мм, длина – 500 мм. Рассматривая рисунок 12, можно сделать вывод, что для идеальной работы необходимо создать условия, при которых расстояние от поверхности датчика до верхней поверхности транспортёрной ленты будет 20-30мм, но не стоит забывать, что в зависимости от массы образца, намагничиваемость будет изменяться – чем больше масса, тем больше реакция магнитного поля. Исходя из этого, можно сделать вывод, что при определенных условиях, зависящих от массы измеряемых образцов, дистанция от поверхности датчика до образца может достигать 150 мм. Учитывая, что транспортёрная лента на разных предприятия разной толщины, было решено использовать расстояние 40 мм для образцов массой колеблющейся в области двух килограмм. В ходе эксперимента было выявлено, что датчик МВ-5 использовать на транспортёрной ленте возможно. На рисунке 13 показан пример приспособления установки к конвейеру. Однако, конвейерная установка требует быстрого сбора информации, что невозможно сделать вручную. Следовательно, применение датчика на конвейере возможно только после разработки программы автоматического анализа и расчета.



Рисунок 13 – Пример приспособления установки

## **2.5. Расчет коэффициентов перевода показаний средств измерений в процентные значения содержания железа в образцах**

Для расчета коэффициентов перевода показаний средств измерений в процентное значение содержания железа образцах необходимо установить зависимость между массой образцов, процентным содержанием железа в них и высотой измерения. Для этого были произведены измерения на образцах с известным содержанием железа и массы. Четыре вида разных по цвету и процентному содержанию железа образца поочередно измерялись на

установке. Параметры образцов представлены в таблице 9. Так как расстояние от поверхности датчика МВ-5 до поверхности транспортёрной ленты составляет 40 мм, высота резиновой подложки 11 мм, а необходимая высота промагничивания над лентой 30 мм, было решено провести эксперимент на 8 уровнях высоты, начиная с базового. Результаты измерений и расчетов коэффициентов представлены в таблицах 10 – 17.

Таблица 9 – Параметры образцов

Цвет образца	Масса образца, гр	Содержание железа, %
Желтый	2029	2,9
Красный	2675	34,4
Синий	2360	23
Зелёный	2028	11,5

Таблица 10 – Базовый уровень

Цвет образца	Ток 1, А	Ток 2, мА	Коэффициент
Желтый	12,27	2,5	0,004795
Красный	12,34	171,3	0,073550
Синий	12,34	155,6	0,043439
Зелёный	12,34	33,5	0,018848

Таблица 11 – Первый уровень

Цвет образца	Ток 1, А	Ток 2, мА	Коэффициент
Желтый	5,6	2,5	0,01050263275
Красный	12,35	140,4	0,07367258054
Синий	12,34	71,8	0,04373257706
Зелёный	12,34	2,6	0,01889553255

Таблица 12 – Второй уровень

Цвет образца	Ток 1, А	Ток 2, мА	Коэффициент
Желтый	3,44	2,5	0,01709251997
Красный	12,34	84,5	0,07406334259
Синий	12,35	2,6	0,04394216602
Зелёный	12,35	2,6	0,01888023574

Таблица 13 – Третий уровень

Цвет образца	Ток 1, А	Ток 2, мА	Коэффициент
Желтый	1,9	2,6	0,03092662672
Красный	12,35	2,6	0,07449443842
Синий	12,35	2,6	0,04394216602
Зелёный	7,88	2,6	0,02958668460

Таблица 14 – Четвертый уровень

Цвет образца	Ток 1, А	Ток 2, мА	Коэффициент
Желтый	0,19	2,6	0,30550882658
Красный	1,49	2,6	0,61650810666
Синий	1,05	2,5	0,51572446556
Зелёный	0,5	2,6	0,46402705929

Таблица 15 – Пятый уровень

Цвет образца	Ток 1, А	Ток 2, мА	Коэффициент
Желтый	0,58	2,6	0,10099725369
Красный	7,36	2,5	0,12498471986
Синий	4,84	2,5	0,11209086216
Зелёный	2,16	2,6	0,10784241191

Таблица 16 – Шестой уровень

Цвет образца	Ток 1, А	Ток 2, мА	Коэффициент
Желтый	0,32	2,6	0,18239615623
Красный	3,44	2,6	0,26729797246
Синий	2,32	2,6	0,23370360803
Зелёный	1,06	2,5	0,21950117647

Таблица 17 – Седьмой уровень

Цвет образца	Ток 1, А	Ток 2, мА	Коэффициент
Желтый	5,6	2,5	0,01050263275
Красный	12,35	140,4	0,07367258054
Синий	12,34	71,8	0,04373257706
Зелёный	12,34	2,6	0,01889553255

Конечными формулами для расчетов коэффициента, связывающего значения силы тока, определяемые амперметром, и процентное содержание железа образцом, стали:

$$M = (I_1 + I_2) * K, \quad (36)$$

где  $M$  – масса железа в образце (гр),

$I_1$  – прямой ток (мА),

$I_2$  – обратный ток (мА),

$K$  – коэффициент.

Для нахождения процентной доли необходимо воспользоваться формулой:

$$X = \frac{100 * M}{M_0}, \quad (37)$$

где  $M_0$  – масса образца (гр),  
 $X$  – доля железа в образце (%).

Экспериментальная установка в лаборатории «УНИИМ» оснащена конвейерными весами ВКР-10, произведёнными компанией «Промел». Принцип действия весов основан на преобразовании аналоговых сигналов, пропорциональных линейной плотности транспортируемого по конвейерной ленте материала, поступающих от весоизмерительных датчиков, и импульсного сигнала, поступающего от датчика перемещения конвейерной ленты, в цифровой вид, с их последующей математической обработкой, в результате которой вычисляются числовые значения линейной плотности материала, мгновенного расхода и суммарной массы взвешиваемого материала.

## **2.6. Методика измерения содержания железа в ферромагнетиках**

Разработанная методика измерения представлена в приложении Б, руководствуясь ей для измерения содержания железа в ферромагнетиках необходимо:

1. Провести внешний осмотр установки.
2. Включить установку. Внутренний нагрев на 15 минут. Включить вспомогательные средства измерения: весы, вольтметр.
3. Измерить магнитный фон. Записать показания вольтметра без воздействия на магнитное поле другими объектами.
4. Измерить массу объекта/объектов измерения, записать результаты измерения в таблицу измерений.
5. Установить объект измерения на поверхности датчика, если есть расстояние от поверхности датчика до объекта измерения, то измерить это расстояние и записать в таблицу результатов.



6. Записать показания вольтметра в положениях переключателя «И1 – И2» «И1» и «И2» в таблицу результатов. Переключатель «И1 – И2» находится на поверхности корпуса для схем.

7. Рассчитать процентное содержание железа образце по формулам:

$$M = (I_1 + I_2) * K, \quad X = \frac{100 * M}{M_0}, \quad \text{где } K \text{ зависит от расстояния между}$$

поверхностью датчика МВ-5 и объектом измерения,  $I_1$  – значение вольтметра в положении включателя «И1»,  $I_2$  – значение вольтметра в положении включателя «И2». Переключатель «И1 – И2» находится на поверхности корпуса для схем.

Так же, исходя из данной методики, к работе с установкой допускаются лица, прошедшие обучение и инструктаж по технике безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004-79, иметь удостоверения о сдаче экзаменов и соблюдать требования также действующих нормативно-технических документов.

## **2.7. Дополнение программы повышения квалификации, необходимой для допуска сотрудников к работе по методике измерения содержания железа в ферромагнетиках**

Повышение квалификации направлено на усовершенствование профессиональных знаний, умений и навыков специалиста. Главная задача таких курсов – удовлетворить потребности специалистов в получении полного спектра необходимой информации в сфере новейших научных достижений, а также передового зарубежного и отечественного опыта по какому-либо профилю. Кроме того, приоритетная цель – обновление практико-теоретических знаний специалиста по причине повышения требований работодателя и ГОСТов к уровню компетентности работников различных профессий.

Длительная программа, срок полного прохождения которой составляет более 100 часов. В рамках таких курсов специалисты углубленно изучают актуальные вопросы и инновации в предметных сферах профессиональной деятельности участников курса. В конце курса слушатели сдают зачет, экзамен или составляют и защищают реферат по теме материалов программы. Если аттестационные мероприятия пройдены участником курса успешно, ему предоставляется свидетельство, подтверждающее получение им повышения квалификации

### **2.7.1. Программа повышения квалификации «Поверка и калибровка средств электрических и магнитных»**

Программа повышения квалификации «Поверка и калибровка средств электрических и магнитных измерений» рассчитана на 108 учебных часов и предусматривает: изучение метрологических основ поверки и калибровки средств электрических измерений и магнитных, а также методик поверки и калибровки средств электрических и магнитных измерений [13].

Освоить данную программу можно в федеральном государственном автономном образовательном учреждении дополнительного профессионального образования «Академия стандартизации, метрологии и сертификации (учебная)» как в очной, так и в заочной форме обучения.

В результате обучения специалист метрологической службы в области поверки и калибровки средств электрических и магнитных измерений обретёт актуальный уровень знаний и навыков в необходимых областях.

### **2.7.2. Анализ тематического плана программы повышения квалификации**

Тематический план программы повышения квалификации по направлению «Поверка и калибровка средств измерений электрических и магнитных величин» представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Тематический план программы повышения квалификации

№ п/п	Содержание разделов
1	2
1	Новые аспекты Законодательных актов и нормативных документов Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ). Основные положения Федерального закона РФ от 26.06.2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
2	Общая классификация средств измерений (СИ). Нормируемые метрологические характеристики СИ, классы точности.
3	Поверка и калибровка СИ, организационно-методические и правовые основы; требования новых нормативных документов.
4	Единицы величин и их измерение. Международная система единиц величин (SI), общая характеристика; правила написания и обозначение единиц величин.
5	Аттестация испытательного оборудования (ГОСТ Р 8.568). Практические примеры. Средства контроля, их аттестация.
6	Вспомогательное оборудование, техническое обслуживание.
7	Испытания СИ. Основные положения нормативных документов. Аттестация эталонов.
8	Методики (методы) измерений; общие требования к разработке, аттестации и регистрации.
9	Погрешность (неопределенность) результатов измерений. Способы оценивания и формы представления.
10	Аккредитация юридических лиц и индивидуальных предпринимателей на право поверки и калибровки СИ, новые требования НД. Подготовка пакета документов, порядок проведения аккредитации.
11	Метрологический надзор за состоянием измерений на предприятии.

Окончание таблицы 18

1	2
12	Общая классификация методов и средств измерений электрических и магнитных величин.
13	Меры электрических величин, измерительные приборы сравнения, их поверка, калибровка.
14	Электромеханические показывающие приборы прямого действия, их поверка, калибровка (амперметры, вольтметры, ваттметры, омметры).
15	Измерительные преобразователи электрических величин, их поверка, калибровка.
16	Интегрирующие электроизмерительные приборы, их поверка, калибровка (счетчики электрической энергии).
17	Поверка и калибровка фазометров.
18	Цифровые электроизмерительные приборы, их поверка, калибровка.
19	Поверка и калибровка средств измерений показателей качества электрической энергии.
20	Метрологическое обеспечение измерительных систем для учета электроэнергии.
21	Общие сведения о принципах действия и устройстве средств измерений магнитных величин.

Проанализировав тематический план и содержание программы, было принято решение добавить один теоретический, пункт между 13 и 14 пунктами настоящего плана, «Меры магнитных величин», рассчитанный на 4 учебных часа, а так же добавить пункт после пункта № 21 с информацией о разработанной в выпускной квалификационной работе методике измерения и практическим занятием, ориентированным на освоение данной методики в течении четырёх часов.

### **2.7.3. Теоретическое занятие на тему «меры магнитных величин»**

В ходе занятия обучающимся необходимо усвоить учебный материал представленный на страницах 16 – 20 данной выпускной квалификационной работы, для приобретения необходимого уровня знаний о мерах магнитных величин. В качестве формы организации образовательного процесса необходимо использовать лекцию. Изложение данного учебного материала представляет собой репродуктивный метод обучения.

### **2.7.4. Практическое занятие, ориентированное на освоение методики измерения содержания железа в ферромагнетиках**

В ходе практического занятия учащимся при помощи наглядных действий обучающего необходимо освоить разработанную в выпускной квалификационной работе методику измерения содержания железа в ферромагнетиках. В качестве раздаточного материала использовать приложение А настоящей ВКР. Обучающий должен показать, как производить измерения при помощи датчика МВ-5 и научить преобразовывать полученные результаты измерений в процентное содержание железа при помощи формул, представленных в разработанной методике измерения.

**Цель занятия:** Научить производить измерения при помощи датчика МВ-5 и преобразовывать полученные результаты измерений в процентное содержание железа

**Оснащение:** Методика измерения железа в ферромагнетиках, датчик МВ-5, образцы для измерений, амперметр, весы, бланки регистрации результатов измерений.

#### **Ход занятия:**

1. Объявление темы и цели.
2. Демонстрационное измерение.
3. Самостоятельная работа обучающихся.

#### 4. Контроль результатов.

Обучающимся, просмотрев демонстрацию измерения железа ферромагнетиках, необходимо самостоятельно измерить содержание железа в образцах. Для достижения этого необходимо прочесть методику измерения и приступить к измерениям, следуя пунктам методики измерения

#### Оформление отчета:

Отчет должен содержать:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Заполненный бланк регистрации ответов.
4. Вывод.

Таблица 19 – Бланк регистрации результатов измерений

Номер образца	Масса образца, грамм	Ток 1, А	Ток 2, А	К	$M = (I_1 + I_2) * K,$ грамм	$X = \frac{100 * M}{M_o},$ %
1						
2						
3						
4						

### **3. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ**

Разработка методики измерений проводилась в лаборатории магнитных измерений ФГУП «УНИИМ».

Целью экономической части дипломной работы является определение целесообразности проведения мероприятий, связанных с разработкой методики контроля содержания железа в ферромагнетиках.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить и рассчитать затраты на подготовку и проведение мероприятий;
- определить потенциальные выгоды.

Работа выполнялась в течение двух месяцев.

#### **3.1. Основные статьи затрат**

Основными статьями затрат на разработку методики являются:

- комплектующие и расходные материалы;
- коммунальные услуги и электроэнергия;
- затраты на оплату труда;
- отчисления на социальные нужды;
- амортизация основных фондов;
- содержание и ремонт оборудования;
- прочие затраты;
- эксплуатационные услуги;
- накладные расходы.

### 3.2. Материальные затраты

К материальным затратам в нашем случае можно отнести следующее:

- комплектующие и расходные материалы (бумага);
- единовременный расход (пользование сетью Интернет);
- коммунальные услуги и электроэнергия.

Расчет материальных затрат за все время выполнения дипломной работы приведен в таблице 20.

Таблица 20 – Расчет материальных затрат на выполнения работ

Наименование	Количество	Стоимость единицы, руб.	Сумма, руб.
Бумага (формат А4), пачка	1	230	230
Заправка картриджа	1	370	370
Пользование сетью Интернет, мес.	2	500	1000
Коммунальные услуги, мес.	2	300	600
Итого			2200

Данные по ценам на коммунальные услуги и электроэнергию, расходные материалы, а также за доступ к сети интернет взяты в бухгалтерии ФГУП «УНИИМ».

### 3.3. Оплата труда

В этот элемент затрат включается определенный по предприятию фонд оплаты труда. Затраты на оплату труда приведены в таблице 21.



Таблица 21 – Фонд оплаты труда персонала за весь срок исполнения работы

Категория персонала	Численность	Оплата труда	Итого с учетом уральского районного коэффициента (15 % к фонду з/пл), руб.	Фонд з/пл. за все время работы, руб.
Исполнитель	1	10000	11500	23000
Эксперт	1	40000	46000	92000
Итого:	2	50000	57500	115000

### 3.4. Амортизационные отчисления

Затраты на производство продукции также включают в себя и амортизацию, то есть часть стоимости объектов основных фондов. Объектами для начисления амортизации выступают основные средства, находящиеся у предприятия на правах собственности, хозяйственного ведения и оперативного управления, а также нематериальные активы.

Начисление амортизации начинается с первого числа месяца, следующего за месяцем принятия объекта к учету. Начисляется амортизация в течение срока полезного использования объекта. Сумма начисленной амортизации отражается в том отчетном периоде, к которому она относится и начисляется вне зависимости от результатов хозяйственной деятельности предприятия в отчетном году.

Величину амортизационных отчислений регулирует Положение по бухгалтерскому учету «Учет основных средств».

Таблица 22 – Результаты расчётов

Наименование оборудования	Количество	Первоначальная балансовая стоимость, руб.	Сумма, руб.	Амортизационные отчисления, руб.	
				за месяц	за весь срок
Рабочий стол	1	5000	5000	37.5	75
Рабочий стул	1	1500	1500	11.25	22.5
Компьютер	1	23000	23000	172.5	345
Принтер	1	11000	11000	82.5	165
Итого:	4	40500	40500	303.75	608

Первоначальная балансовая стоимость производственных фондов взята в бухгалтерии ФГУП «УНИИМ».

### 3.5. Прочие расходы

Данный элемент затрат, в отличие от рассмотренных ранее, включает разные, экономически неоднородные виды расходов, в том числе некоторые налоги, в частности налог на имущество, земельный налог. Кроме того, в этом элементе затрат находят отражение следующие виды затрат:

- затраты, предназначенные для частичного воспроизводства основных средств (проведение ремонтных работ). Неравномерность износа отдельных частей объекта основных фондов вызывает необходимость его возмещения, то есть проведения комплекса работ по поддержанию его в работоспособном состоянии в течение всего срока полезного использования объекта: обслуживание, текущий, средний, а также капитальный ремонты;

- затраты на конструкторские разработки следует из правил оплата работ и услуг;

- расходы по обязательному и добровольному страхованию работников и имущества;

– расходы на получение лицензий на право заниматься каким-либо видом деятельности;

– расходы по освоению природных ресурсов;

– платежи за выбросы загрязняющих веществ.

Таким образом, в данной работе рассчитываются:

Затраты на ремонт оборудования

Затраты на ремонт оборудования в год составляют 5 %

конструкторского подразделения:

$$Z_{\text{рем.оборуд.}} = 40500 \times 0,05 = 2025 \text{ руб./год.}$$

За два месяца затраты составили 336 руб.

Затраты на содержание оборудования

Затраты на содержание оборудования в год составляют 1.8 % от его первоначальной балансовой стоимости:

$$Z_{\text{сод.оборуд.}} = 40500 \times 0,08 = 3240 \text{ руб./год.}$$

За два месяца затраты составили 540 руб.

Прочие расходы

Эти расходы составляют 1.8 % от фонда заработной платы:

$$Z_{\text{прочие}} = 87400 \times 0,018 = 1573 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

Накладные расходы составляют 120 % от фонда заработной платы:

$$Z_{\text{рем.оборуд.}} = 87400 \times 1,2 = 104880 \text{ руб.}$$

Полная стоимость выполнения дипломной работы

Расчет полной себестоимости выполнения дипломной работы производится путем суммирования всех видов затрат.

Калькуляция цены на разработку руководства по качеству приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Сводная калькуляция цены разработки

№	Статьи затрат	Сумма, руб.
1	Материальные затраты	2200
2	Фонд оплаты труда	87400
3	Обязательные социальные отчисления	44850
4	Амортизационные отчисления	608
5	Ремонт оборудования	336
6	Содержание оборудования	540
7	Прочие расходы	1573
8	Накладные расходы	104880
9	Итого себестоимость	242386
10	Прибыль организации (20 % от плановой себестоимости)	150000
11	Стоимость работ	432000
	Итоговая цена разработки проекта	750000

### 3.6. Оценка стоимости разработки методики измерений

Оценка стоимости разработки руководства по качеству метрологической службы проводилась в соответствии с Р 50.1.058 [18].

Исходными данными для расчета трудоемкости разработки руководства по качеству, являющимся методикой измерения, являются:

базовый норматив трудоемкости разработки методики контроля содержания железа в ферромагнетиках.

Трудоемкость разработки МИ вычисляют по формуле:

$$T_{МИ} = T_{б.н.} \cdot q_{сл} \cdot q_c, \quad (38)$$

где  $T_{МИ}$  – трудоемкость разработки ТУ организации, чел./мес.;

$T_{б.н.}$  – базовый норматив трудоемкости разработки МИ организации, чел./мес.;

$q_{сл}$  – коэффициент сложности разработки МИ;

$q_c$  – коэффициент, учитывающий число страниц МИ.

Исходные данные для расчета трудоемкости разработки МИ взяты из Р 50.1.058 и представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Исходные данные для расчета трудоемкости разработки МИ

Параметр	Обозначение	Величина	Обоснование
Базовый норматив трудоемкости разработки МИ	$T_{б.н.}$	17,0 чел./мес.	стандарт на процессы
Коэффициент сложности	$q_{сл}$	1,17	Уровень сложности стандарта – начальный
Коэффициент, учитывающий число страниц МИ	$q_c$	0,6	Число страниц стандарта до 20

Подставив исходные данные в формулу (38), получим:

$$T_{МИ} = 17 \times 1,17 \times 0,6 = 12 \text{ чел./мес.}$$

Стоимость разработки стандарта организации вычисляют по формуле:

$$C_{МИ} = T_{МИ}(1 + q_0 + q_{к.р.}) \cdot Z_{с.м.},$$

где  $C_{МИ}$  – стоимость разработки МИ, руб.;

$T_{МИ}$  – трудоемкость разработки МИ, чел./мес.;

$q_0$  – норматив отчислений из фонда заработной платы;

$q_{к.р.}$  – коэффициент косвенных расходов организации, осуществляющей разработку МИ;

$Z_{с.м.}$  – месячная заработная плата специалистов, участвующих в разработке МИ, руб.

Исходные данные представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Исходные данные для расчета стоимости разработки МИ

Параметр	Обозначение	Величина	Обоснование
Трудоемкость разработки методики измерения	$T_{МИ}$	12 чел./мес.	Данная величина рассчитывалась в соответствии с Р 50.1.058 выше
Норматив отчислений из фонда заработной платы	$q_0$	0,3	Норматив взят в соответствии с нормами 2014 г. и составляет 30%
Коэффициент косвенных расходов организации, осуществляющей разработку методики измерений	$q_{к.р.}$	0,5	Коэффициент учитывает стоимость экспертиз и составляет 40-50 %
Месячная заработная плата специалистов, участвующих в разработке МИ	$Z_{с.м.}$	20000 руб.	Месячный оклад специалиста составляет 35000 руб. разработка МИ велась 2 месяца

Подставив исходные данные в формулу, получим следующую стоимость разработки методики измерения:

$$C_{МИ} = 12 \times (1+0.3+0.5) \times 20000 = 432000 \text{ руб.}$$

### 3.7. Расчет целесообразности разработки проекта

Целесообразность разработки не нуждается в расчете, ведь разработка методики измерения содержания железа в ферромагнетиках оговорена в заказе предприятием «Карельский окатыш» и ФГУП «УНИИМ» обязалось выполнить данное условие. «Карельскому окатышу» разработка методики

измерения железа в ферромагнетиках при помощи датчика МВ-5 обошлась в стоимость 750 тысяч рублей, по расчетам из экономической части данной выпускной квалификационной работы затраты на разработку составили 432 тысяч рублей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были исследованы метрологические и технические характеристики индуктивного метода измерения содержания железа в ферромагнетиках и разработана методика измерения содержания железа в ферромагнетиках индуктивным методом при помощи датчика МВ-5. Полученные результаты полностью решают задачи, поставленные заказчиком, и будут переданы на дальнейшую обработку для разработки программы автоматизированного сбора данных, а так же будут использованы в будущем на ФГУП «УНИИМ» для изготовления рабочего образца.

Общая погрешность определения доли железа магнитного составляет не более 1% (максимальная допустимая погрешность заказанная предприятием 5%).

Так же в ходе выполнения выпускной квалификационной работы были решены такие задачи как:

1. Изучены конструкция и принцип действия приборов для измерения магнитных характеристик;
2. Определены область и дистанция намагничивания датчика МВ-5;
3. Проведены испытания установки с образцами, с известным процентным содержанием железа.
4. Рассчитаны коэффициенты преобразования показаний вольтметра в процентное содержание железа в руде;
5. Рассмотрена возможность применения датчика МВ-5 на конвейере;
6. Рассчитана погрешность использования данной методики;
7. Разработана методика измерения содержания железа в ферромагнетиках при помощи датчика МВ-5;
8. Дополнена программа повышения квалификации, для допуска сотрудников к работе с данной методикой контроля.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Буханов В.М., Глушкова Т.М., Матюнин А.В., Салецкий А.М., Харабадзе Д.Э. Лабораторный практикум по общей физике. – Москва : МГУ им. М.В.Ломоносова, 2011. – 11 с.
2. ГОСТ 22261 – 94. Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ 22261-82 ; введ. 1996-01-01. – Минск: Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Москва : Издательство стандартов, 2007. – 31 с.
3. ГОСТ Р 51288 – 99. Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия. – Введ. 2000-30-06. – Москва : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 2004. – 23 с.
4. ГОСТ Р 8.736 – 2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерения. – Введ.: 2013-01-01. – Москва : Издательство стандартов, 2013 – 19 с.
5. История ФГУП УНИИМ [Электронный ресурс] : официальный сайт. – Режим доступа: <http://www.uniim.ru/histori.html> (дата обращения: 06.05.2016).
6. Курепин В.В., Баранов И.В. Обработка экспериментальных данных: метод. указания к лабораторным работам для студентов всех спец. – Санкт-Петербург : СПбГУНиПТ, 2003. – 57 с.
7. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. – Москва : Наука, 2005. – 463 с.
8. Мельгуй М. А. Магнитный контроль механических свойств сталей. – Минск : Наука и Техника, 1988. – 184 с.
9. Петров В.Л. Корешева З.А., Лалаева З.А., Филиппович А.Ю. Рекомендации по проектированию дополнительных профессиональных программ на основе профессиональных стандартов. – Москва, 2013. – 10 с.

10. Положение лаборатории метрологии магнитных измерений и неразрушающего контроля. – Екатеринбург, 2013. – 47 с.
11. Положение о УНИИМ. – Екатеринбург, 2015. – 93 с.
12. Р 50.1.058-2011. Методика оценки стоимости разработки и экспертизы национальных стандартов Российской Федерации. – Введ. 2011-05-12. – Москва : Госстандарт России : Стандартинформ, 2011. – 8 с.
13. Северсталь. Корельский окатыш [Электронный ресурс]: официальный сайт. – Режим доступа: <http://karelskyokatysh.severstal.com/rus/about.html> (дата обращения: 06.05.2016).
14. С. М. Афанасьев, Н.В. Студенцов, В.Н. Хорев, Е.Н. Чечурина, А.П. Щелкин. Средства измерений параметров магнитного поля. – Ленинград : Энергия, 1979. – 320 с.
15. ФГУП УНИИМ : официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.uniim.ru/struct.html> (дата обращения: 06.05.2016).
16. Тикадзуми Т. Физика ферромагнетизма. – Москва : МИР, 1987. – 419 с.
17. Чернышев Е.Т., Чечурина Е.Н., Чернышева Н.Г., Студенцов Н.В. Магнитные измерения. – Москва : Издательство комитета стандартов, мер и измерительных приборов при совете министров СССР, 1969. – 248 с.
18. Чечерников В. И. Магнитные измерения / под ред. проф. Е.И. Кондорского. – Москва : Издательство московского университета, 1963. – 283 с.



## **ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

### **Методика измерения содержания железа в ферромагнетиках**

---

**Разработано** Федеральным государственным унитарным предприятием  
«Уральский Научно-Исследовательский институт метрологии»

**Исполнитель** Н.Г.Старков

---

### **МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ**

### **СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ ПРИ ПОМОЩИ ДАТЧИКА МВ-5 ИНДУКТИВНЫМ СПОСОБОМ**

---

Срок действия  
установлен с  
24.06.16 г.

до 24.06.21 г.

# **МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ**

## **СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ ПРИ ПОМОЩИ ДАТЧИКА МВ-5 ИНДУКТИВНЫМ СПОСОБОМ**

Настоящая Методика устанавливает требования к процессу выполнения содержания железа в ферромагнетиках при помощи датчика МВ-5 индуктивным способом.

Методика предназначена для применения персоналом АО «Корельский окатыш» при измерении процентного содержания железосодержащих руд с целью получения достоверных результатов по учету содержания железа магнитного в рудах.

Область применения методики распространяется на датчик МВ-5.

### **1. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА**

**1.1.** При взвешивании железосодержащих руд конвейерная установка должна быть оборудована конвейерными весами:

- весы автоматические к ленточным конвейерам типа ВКР-10 класса точности 1;
- амперметр Flux-303;
- термометр ртутный стеклянный лабораторный ТЛ-5 по ГОСТ 215-73; углометр с нониусом по ГОСТ 5378-88 (СТ СЭВ 850-78);
- вольтметр класса точности 0,5 по ГОСТ 8711-78;

**Примечание.** Допускается применение других средств измерений с аналогичными или улучшенными метрологическими характеристиками.

## **2. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ**

2.1. Датчик МВ-5 по принципу действия относится к электромагнитным, а по методу измерения – индуктивным.

2.2. В основу конструкции датчика положено использование индуктивных катушек, измерительной, создающей магнитное поле, и намагничивающей, определяющей воздействие железных объектов на магнитное поле.

## **3. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ**

3.1. Лица, допускаемые к обслуживанию электромагнитного датчика и выполнению измерений, должны пройти обучение и инструктаж по технике безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004-79, иметь удостоверения о сдаче экзаменов и соблюдать требования также действующих нормативно-технических документов:

"Правила техники безопасности при эксплуатации электромагнитного оборудования электростанций." (М.: Энергоатомиздат, 1985);

"Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок" (М.: Энергоатомиздат, 1987);

"Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей" (М.: Энергоатомиздат, 1989). Необходимо выполнять требования, указанные в техническом описании и инструкции автоматических конвейерных весов.

3.2. Лицам, не имеющим непосредственного отношения к эксплуатации электромагнитного датчика, доступ к датчику запрещается.

3.3. Во время работы электромагнит должен быть надежно заземлен в соответствии с требованием ГОСТ 12.2.007.0-75

#### **4. ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ПЕРСОНАЛА**

**4.1.** К измерениям на данной установке и обработке результатов могут быть допущены лица, прошедшие обучение.

**4.2.** К регулировке, ремонту и наладке установки допускаются работники, изучившие их техническое описание и инструкции по эксплуатации, имеющие навыки в работе с автоматическими приборами и имеющие квалификацию не ниже электрослесаря 6-го разряда.

#### **5. УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЯ**

**5.1.** Условия выполнения произведения измерений должны соответствовать требованиям, указанным в технической документации на конкретные типы применяемых электромагнитных датчиков.

**5.2.** Предельное допустимое значение погрешности измерения содержания железа магнитного  $\pm 1,0$  % гарантируется в том случае, если большую часть времени работы конвейера (не менее 85 %) линейная плотность руды на ленте конвейера находится в пределах: от 50 до 100 %.

**5.3.** Электрическое питание датчика должно осуществляться от сети переменного тока частотой  $(50 \pm 1)$  Гц, напряжением 220 В с допустимыми отклонениями от номинального значения от минус 33 до плюс 22 В.

**5.4.** Силовой кабель не допускается прокладывать в одной трубе с контрольным кабелем.

**5.5.** Аппаратура электромагнитной установки не должна непосредственно подключаться к линии, от которой питается сильноточное оборудование.

**5.6.** Рабочий диапазон температур окружающего воздуха, °С:  
для конвейерных весов типа ВКР-10 от плюс 5 до плюс 50;  
для датчика МВ-5 - от минус 30 до плюс 50;

**5.7.** Относительная влажность окружающего воздуха - не более 80 % во всем диапазоне температур.

**5.8.** Крупность измеряемых окатышей - не менее 5 мм в диаметре, при дистанции измерения от 0 до 15мм от поверхности датчика; не менее 10 мм в диаметре, при дистанции измерения от 16 до 30 мм; не менее 20 мм в диаметре, при дистанции измерения от 31 до 50 мм; не менее 30 мм в диаметре, при дистанции измерения от 51 до 150 мм.

## **6. АЛГОРИТМ ПОДГОТОВКИ И ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЯ**

**6.1.** Проверить, не истек ли срок поверки датчика и вспомогательных приборов.

**6.2.** Произвести внешний осмотр и проверку конвейера, датчика и вспомогательных средств измерения. При проведении внешнего осмотра необходимо убедиться в соответствии: видимых повреждений конвейера, датчика, электропроводки; пыли, грязи на датчике и перекосов в плоскости установки датчика, кроме того при осмотре необходимо проверить:

соответствие подсоединения кабелей согласно схеме соединений датчиков со вторичными приборами; наличие и соединение заземления электроаппаратуры.

**6.3.** Прогреть аппаратуру датчика после включения питания в течение 15 мин.

**6.4.** Произвести опробование датчика при включенном конвейере: убедиться в том, что все ролики устройства преобразования нагрузки вращаются свободно; проверить работоспособность аппаратуры измерения, индикации, сигнализации, устройства для установки "нуля" в ненагруженном состоянии.

**6.6.** Проверить и при необходимости установить "нуль" отсчетного устройства, "нуль" тары в соответствии с инструкцией по эксплуатации конвейерных весов типа ВКР-10.



**6.7.** Измерить магнитный фон, записав показания амперметра при отсутствии металлического внешнего воздействия на магнитное поле, создаваемое датчиком МВ-5.

**6.8.** Полученные результаты измерений железа магнитного в рудах необходимо преобразовать в процентное содержание железа при помощи формул 1 и 2:

$$M = (I_1 + I_2) * K, \quad (1)$$

где  $M$  – масса железа в образце (гр),

$I_1$  – прямой ток (мА),

$I_2$  – обратный ток (мА),

$K$  – коэффициент.

Для нахождения процентной доли необходимо воспользоваться формулой:

$$X = \frac{100 * M}{M_0}, \quad (2)$$

где  $M_0$  – масса образца (гр),

$X$  – доля железа в образце (%).

**6.9.** В случае обнаружения механических повреждений конвейера и датчика, неисправностей, дефектов аппаратуры датчика, электропроводки и устройств, настоящей методики измерения содержания железа магнитного не выполняется до полного устранения отмеченных недостатков.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Средства измерений и вспомогательные устройства	2
2. Метод измерений	3
3. Требования безопасности	3
4. Требования к квалификации персонала	4
5. Условия выполнения измерения	4
6. Алгоритм подготовки и выполнения измерения	5