

6
A51

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР**

**ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ имени АРТЕМА**

На правах рукописи

КОНДРАТЕЦ В. А.

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
ПРИБОРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАСХОДА ПУЛЬПЫ
НА МАГНИТООБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ**

**Специальность 05. 193
Автоматизация производственных процессов в горной
промышленности.**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**диссертации на соискание ученой степени кандидата,
технических наук**

**Днепропетровск
1971**

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ имени АРТЕМА

На правах рукописи

КОНДРАТЕЦ В. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
ПРИБОРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАСХОДА ПУЛЬПЫ
НА МАГНИТООБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ

Специальность 05. 198
Автоматизация производственных процессов в горной
промышленности.

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Днепропетровск
1971

Работа выполнена в Научно-исследовательском и опытно-конструкторском институте автоматизации черной металлургии (НИИАЧермет) и на рудообогатительной фабрике Ново-Криворожского горнообогатительного комбината.

Научные руководители:

кандидат технических наук, доцент А. Н. Мариута,
кандидат технических наук, доцент Г. Р. Носов.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор В. А. Бойко,
кандидат технических наук В. Л. Раков.

Ведущее предприятие — Ново-Криворожский горнообогатительный комбинат (НКГОК).

Автореферат разослан « » 1971 г.

Защита диссертации состоится «11» марта 1971 г.
на заседании Совета электротехнического факультета Днепропетровского горного института им. Артема в аудитории

Отзывы в 2-х экземплярах просим направлять по адресу:

г. Днепропетровск, 14, пр. К. Маркса, 19, ДГИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь совета,
доктор технических наук, профессор

(В. А. БУНЬКО).



ВВЕДЕНИЕ

Железородная база черной металлургии СССР характеризуется преобладанием запасов руд, нуждающихся в обогащении. В Криворожском бассейне в 1980 г. добыча и переработка бедных магнетитовых руд составит 70% от общей добычи. Переработка такого количества руд требует совершенствования технологии обогащения, создания нового высокопроизводительного и надежного технологического оборудования, разработки эффективных систем автоматического управления производственными процессами.

Для автоматизации технологических процессов на обогатительных фабриках требуется ряд приборов контроля технологических параметров, некоторые из них уже разработаны и успешно используются. Так как переработка руды на обогатительных фабриках осуществляется путем удаления магнитной сепарацией раскрытых зерен пустой породы из последовательно измельчаемой в водной среде руды, контроль расхода твердого в пульпе в различных точках технологической схемы позволяет судить о ходе процесса обогащения. Кроме того, контроль расхода пульпы имеет важное значение при автоматизации гидротранспортных установок, используемых для подачи материала в технологические аппараты. Отсутствие простых и надежных приборов для контроля расхода пульпы, удовлетворяющих требованиям технологического процесса на магнитообогатительных фабриках, сдерживает создание систем автоматического управления вдоль всей технологической линии.

Поэтому создание прибора для непрерывного контроля расхода пульпы является актуальной задачей, имеющей большое народнохозяйственное значение.

Реферируемая работа состоит из 185 страниц машинописного текста, из которых 46 страниц составляют 49 рисунков.

К работе приложены акты испытания разработанных устройств в промышленных условиях на 10 страницах машинописного текста.

Результаты работы докладывались на техсоветах института НИИАчермет, рудообогатительной фабрики Ново-Криворожского горнообогатительного комбината (НКГОКа), на научно-технических конференциях Днепропетровского горного и Криворожского горнорудного институтов и на научно-технической конференции молодежи «Пути совершенствования технологии и техники производства на Криворожских предприятиях черной металлургии».

ГЛАВА I. Выбор метода контроля расхода продуктов обогащения

На обогатительных фабриках Кривбасса переработка сырья осуществляется путем магнитной сепарации последовательно измельчаемых руды и промпродуктов. Насыщенность технологической линии оборудованием и изменение физико-химических свойств руды практически не позволяют обеспечить оптимальный ход процесса обогащения вручную, что приводит к колебаниям выхода и качества концентрата.

Управляя плотностью слива классификатора и гидроциклонов, принципиально возможно создать единую связанную систему управления всей технологической линией. Для осуществления этой системы наряду с другими технологическими параметрами необходимо контролировать расход продукта на сливе классификатора, промежуточных продуктов магнитной сепарации всех стадий обогащения и продуктов питания гидроциклонов.

В настоящее время для контроля расхода веществ предложен ряд приборов различного принципа действия. Однако, ввиду их сложности, низкой надежности, большой инерционности, зависимости показаний от параметров измеряемого потока или по другим причинам, они не получили широкого распространения на магнитообогатительных фабриках.

Контроль расхода железорудных пульп просто и надежно может быть осуществлен с помощью расходомера, использующего свойство меток, формируемых самим потоком.

В реферируемой работе ставятся задачи: произвести теоретическое исследование распределения твердого в потоке пульпы с целью определения возможности применения для контроля расхода данного метода; исследовать возможность контро-

ля расхода пульпы при помощи данного метода и определить возможную точность такого контроля; разработать и исследовать датчик и измерительную схему расходомера; исследовать влияние различных факторов на показания расходомера; произвести анализ испытаний разработанного устройства в промышленных условиях.

ГЛАВА II. Обоснование метода непрерывного контроля расхода продуктов обогащения

Данный метод контроля расхода продуктов обогащения основан на неравномерном распределении твердого в потоке пульпы.

Объем V движущейся пульпы с неизменной крупностью частиц можно представить суммой одинаковых последовательно расположенных друг за другом элементарных объемов ΔV длина которых незначительно отличается от размера частиц. Математическое ожидание числа частиц в каждом элементарном объеме ΔV равно некоторому среднему значению n , действительное же число частиц в каждом элементарном объеме определяется законами теории вероятностей.

Если поток пульпы, представляющий собой сумму одинаковых элементарных объемов ΔV , перемещается через неподвижный небольшой объем пространства, сечение S которого равно сечению потока, то его будут поочередно занимать элементарные объемы пульпы с различным числом частиц. Если неподвижный объем пространства включает b элементарных объемов потока, число частиц в нем в момент времени $t + \tau$ определится формулой:

$$m = \sum_{i=1}^b m_i + m_{b-1} - m_0, \quad (1)$$

где $\sum_{i=1}^b m_i$ — сумма частиц в элементарных объемах, находящихся в неподвижном объеме пространства в данный момент времени (мгновенное значение); m_{b-1} — число частиц в элементарном объеме потока, входящем в неподвижный объем пространства; m_0 — число частиц в элементарном объеме потока, выходящем из неподвижного объема пространства; τ — время прохождения одного элементарного объема потока.

Число частиц m , находящихся в неподвижном объеме

пространства, является случайной функцией $\xi(t)$ с математическим ожиданием b и дисперсией

$$\sigma_{\xi}^2 = \sum_{i=1}^k (\sum_{n=1}^b m_i - bn)^2 P_i,$$

где P_i — вероятность появления суммы $\sum_{i=1}^b m_i$ частиц в неподвижном объеме пространства; K — число возможных значений, которые принимает сумма частиц.

Действующее значение производной $\dot{\xi}(t)$ случайной функции $\xi(t)$ определяется формулой:

$$\dot{\xi} = \frac{v-v_1}{k_1 k_2} \sqrt{2k_2^2 + k_1^2} \sigma_{\xi}, \quad (2)$$

а среднее число выбросов в единицу времени на уровне C_1 , который может изменяться от 0 до максимального значения функции, формулой:

$$N_2(C_1) = \frac{v-v_1}{2\pi k_1 k_2} \sqrt{\frac{12k_2^4 + 12k_1^2 k_2^2 + k_1^4}{2k_2^2 + k_1^2}} X$$

$$X \exp \left[- \frac{k_1^2 k_2^2 C_1^2}{2\sigma_{\xi}^2 (v-v_1)^2 (2k_2^2 + k_1^2)} \right], \quad (3)$$

где: v — средняя скорость пульпы; v_1 — средняя скорость потока пульпы, при которой определяется порог чувствительности измерительного устройства; k_1, k_2 — коэффициенты, зависящие от конструкции датчика и диаметра трубопровода.

Зависимости (2), (3) могут быть использованы для контроля расхода пульпы.

Так как в действительности пульпа представлена смесью частиц различной крупности, среднее квадратическое отклонение σ_{ξ} случайной функции $\xi(t)$ в уравнениях (2), (3) может быть определено как корень квадратный из суммы дисперсий $\sigma_{\xi i}^2$ изменения числа частиц для каждого класса крупности. В результате зависимости σ_{ξ} от плотности пульпы и крупности частиц твердого изменение этих параметров потока пульпы будет вносить погрешность при измерении расхода.

Анализ уравнений (2), (3) показывает, что при измерении расхода по среднему числу выбросов в единицу времени погреш-

ность будет меньше, так как при значениях уровня $C_1 \rightarrow 0$ значение составляющей

$$\exp \left[- \frac{k_1^2 k_2^2 C_1^2}{2\sigma_{\xi}^2 (v-v_1)^2 (2k_2^2 + k_1^2)} \right]$$

в уравнении (3) близко к единице и изменяется незначительно при изменении σ_{ξ} . Так как среднее квадратическое отклонение случайного процесса $\dot{\xi}(t)$ при неизменной скорости потока линейно зависит от параметра σ_{ξ} , при измерении расхода по действующему значению $\dot{\xi}(t)$ следует ожидать большей погрешности.

Кроме того, погрешность может возникнуть за счет изменения разности скоростей жидкой и твердой фаз пульпы. Установлено, что при допустимых изменениях концентрации, крупности частиц и удельного веса твердого погрешность в измерение расхода не вносится.

Если от числа частиц перейти к их объему, расход пульпы можно измерять по действующему значению и среднему числу выбросов производной случайной функции $\dot{\xi}_{vt}(t)$ изменения объемного количества твердого в неподвижном объеме пространства.

В случае ферромагнитных пульп измерение производной случайной функции $\dot{\xi}_{vt}(t)$ следует производить магнитоиндукционным датчиком, составными элементами которого являются постоянные магниты, полюсные наконечники с зазором между ними и индукционные обмотки.

ГЛАВА III. Исследование магнитоиндукционного датчика расходомера

Результаты проведенных экспериментов подтвердили возможность измерения расхода ферромагнитных пульп магнитоиндукционным датчиком по действующему значению и числу выбросов выходного сигнала.

Для контроля расхода пульпы был разработан магнитоиндукционный датчик, геометрия полюсных наконечников которого обеспечивает получение в измеряемом потоке узкого по высоте и значительного по глубине магнитного поля. Его полюсные наконечники имеют переменное сечение, уменьшающееся в направлении от источника м. д. с. к зазору от 10 до 2 мм., угол их наклона к потоку пульпы составляет около 45°.

Установлено, что напряженность H магнитного поля у за-

зора магнитоиндукционного датчика с удалением от кромки полюсных наконечников уменьшается по зависимости:

$$H = H_{01} e^{-c_1 x} + H_{02} e^{-c_2 x}, \quad (4)$$

где x — расстояние от кромки зазора до данной точки; C_1, C_2 — коэффициенты неоднородности поля

Магнитный поток датчика, проходящий через контролируемый объем в пульпе, при прочих неизменных параметрах зависит от длины зазора l и толщины δ разделительной стенки, установленной между полюсными наконечниками и движущимся материалом. При увеличении зазора от 0 до 2 мм происходит резкое увеличение магнитного потока. В пределах $l = 6-9$ мм величина потока достигает максимального значения и затем постепенно снижается. С увеличением толщины δ разделительной стенки магнитный поток уменьшается не изменяя характера зависимости $\Phi = f(l)$

Для обеспечения неизменности магнитного потока в процессе эксплуатации датчика необходимо применять стабилизированные постоянные магниты.

В случае использования постоянных магнитов, материал которых имеет крутую кривую размагничивания в своей верхней части, получается более высокая э. д. с. на выходе датчика. Поэтому в датчике наиболее целесообразно использовать постоянные магниты со сплавов ЮНДК-15, ЮНДК-18, ЮНДК-24.

Экспериментально установлено, что при оптимальных значениях конструктивных параметров магнитоиндукционного датчика для получения на его выходе сигнала величиной в несколько десятков милливольт измерительная обмотка должна иметь 20-30 тысяч витков.

Для измерения расхода пульпы в различных пульпопроводах разработаны магнитоиндукционные датчики со специальной формой магнитных систем. Исследованиями магнитного поля датчиков, проводимыми с помощью тесламетра с преобразователем Холла, установлено, что с увеличением длины зазора размер магнитного поля в направлении движения потока увеличивается при резком уменьшении напряженности на расстояниях x до 2-3 мм и плавном ее изменении при значениях $x > 2-3$ мм. При различных зазорах значения напряженности поля на удалениях $x > 2-3$ мм мало отличаются между собой. Следовательно, при толщине разделительной стенки, равной 2-3 мм, и практически неизменной напря-

женности и глубине проникновения магнитного поля в пульпу можно изменять размер магнитного поля вдоль потока, регулируя величину воздушного зазора l датчика. Размер магнитного поля по ширине потока можно устанавливать путем изменения ширины b полюсных наконечников.

Так как максимальное значение э. д. с. датчика находится в пределах существования статистической связи между числом частиц в элементарных объемах потока, находящихся в его магнитном поле, значения параметров b и l должны определяться в каждом конкретном случае в зависимости от крупности частиц твердого в пульпе и значений конструктивных параметров датчика. На продукте питания гидроциклонов третьей стадии измельчения экспериментально получены уравнения связи между средним значением U , частотой N импульсов выходного сигнала датчика и шириной полюсных наконечников и длиной зазора в магнитной системе:

$$U = -0.61 + 0.23b - 0.00176b^2; \quad \theta = 0.81, \quad (5)$$

$$N = 28.6 - 0.062b; \quad r = 0.74, \quad (6)$$

$$U = 2.09 + 1.6l; \quad r = 0.965, \quad (7)$$

$$N = 50.79 + 8.43l - 0.994l^2; \quad \theta = 0.75, \quad (8)$$

Из анализа уравнений следует, что ширину полюсных наконечников целесообразно принять равной 60-80 мм, а длину зазора между ними — 3,5-5,0 мм.

Проведенные теоретические исследования позволяют утверждать, что с увеличением диаметра канала датчика средняя скорость пульпы в его магнитном поле уменьшается, а следовательно, уменьшается амплитуда и частота импульсов его выходного сигнала. Изменение крупности твердого, плотности и температуры пульпы не приводит к существенному изменению скорости пульпы в магнитном поле датчика.

Увеличение амплитуды и частоты импульсов выходного сигнала датчика на уровнях, отличающихся от нуля, может быть получено путем установки нескольких магнитных систем (чувствительных элементов).

ГЛАВА IV. Исследование выходного сигнала магнитоиндукционного расходомера.

Магнитоиндукционный датчик является нелинейным элементом. Если на вход нелинейного элемента действует нормальный случайный процесс $\xi(t)$, то процесс на его выходе будет ненормальным. Однако в пределах изменения магнитного потока данный нелинейный элемент может быть линеа-

ризован. Следовательно, магнитоиндукционный датчик может рассматриваться как линейный элемент. Проверка гипотезы о нормальном законе распределения ординат выходного сигнала магнитоиндукционного датчика производилась по осциллограммам с помощью критерия Пирсона. Результаты проверки подтвердили нормальность распределения ординат выходного сигнала датчика.

Оценка спектральной плотности выходного сигнала датчика производилась по экспериментально полученной корреляционной функции приближенным методом типовых треугольных корреляционных функций.

Так как выходной сигнал магнитоиндукционного датчика является стационарной функцией, обладающей эргодическим свойством, вычисление корреляционной функции производилось по одной реализации достаточной длительности, записанной на пленку осциллографом Н-102.

Сравнение нормированных корреляционных функций и спектральных плотностей сигнала датчика, полученных при различных расходах пульпы, показывает, что увеличение расхода пульпы приводит к смещению и расширению спектра сигнала датчика, а также к сжатию его корреляционной функции. Спектр частот выходного сигнала датчика находится в пределах от 0 до 350 гц. Преобладающая часть спектра находится в пределах от 15 до 200 гц.

При обработке осциллограмм, сфотографированных при различной крупности твердого в пульпе, установлено, что дисперсия выходного сигнала датчика с увеличением крупности твердого увеличивается. Сигналам, полученным в данном диапазоне изменения крупности материала, соответствуют практически одинаковые спектральные плотности и средние частоты импульсов.

Анализ графиков корреляционных функций и спектральных плотностей показал, что они также существенно не изменяются при изменении плотности пульпы в исследуемых пределах. Дисперсия выходного сигнала датчика с ростом плотности пульпы увеличивается, а средняя частота импульсов не изменяется.

Ввиду того, что на обогатительной фабрике содержание магнитного железа в твердом в определенной точке технологической схемы изменяется незначительно, исследование его влияния на выходной сигнал датчика производилось в лабораторных условиях. Для приготовления пульпы с различным

содержанием магнитного железа использовались концентрат и хвосты магнитной сепарации. При различном содержании (20%, 35%, 50%, 65%) магнитного железа в твердом осциллографом Н-102 фотографировались реализации выходного сигнала датчика, по которым определялись среднее $U_{ср}$, действующее U_d значения сигнала датчика и частота его выбросов на нулевом $N(0)$ и на уровне, равном трем условным единицам $N(3)$. В результате обработки экспериментальных данных получены уравнения:

$$U_{ср} = 0,0665 F_{ем} - 0,18; \quad (9)$$

$$U_d = 0,091 F_{ем} - 0,43; \quad (10)$$

$$N(0) = 0,0005 F_{ем}^2 + 0,1789 F_{ем} + 45,37; \quad (11)$$

$$N(3) = -0,0012 F_{ем}^2 + 0,82 F_{ем} - 6,11. \quad (12)$$

Из анализа уравнений следует вывод, что среднее и действующее значения выходного сигнала датчика прямо пропорциональны содержанию магнитного железа в твердом. Средняя частота выбросов на нулевом уровне практически не зависит от содержания магнитного железа. На значительных уровнях в результате изменения амплитуды выбросов их среднее число изменяется. Однако ввиду малого диапазона изменения содержания магнитного железа в определенном продукте технологической схемы его влияние на среднее число выбросов выходного сигнала датчика будет незначительным.

Исследование зависимости $N=f(Q)$ при различных значениях уровня ограничения производилось в условиях рудобогатительной фабрики в течение одного месяца. Выходной сигнал датчика ($D_y=40$ мм) при различных расходах пульпы усиливался и фотографировался на пленку осциллографом. В процессе исследования датчика было получено 38 осциллограмм выходного сигнала при изменении средней скорости потока пульпы от 1,91 до 5,03 м/сек., плотности пульпы — от 1,248 кг/л до 1,961 кг/л, средней крупности частиц — от 0,074 до 0,138 мм, содержания магнитного железа в твердом — от 3,01 до 4 усл. ед. Используя экспериментально полученные значения дисперсии сигнала датчика и параметров $v_1=0,89$ м/сек, $k_1=0,027$ м, $k_2=0,0062$ м, по уравнению (3) строили теоретические графики зависимости между средней скоростью потока пульпы и частотой выбросов э. д. с. магнитоиндукционного датчика на различных уровнях.

По данным исследования методом наименьших квадратов определялись уравнения регрессии, по которым также строи-

лись графики зависимости $N=f(v)$ при различных уровнях ограничения C_1 . Сравнение графиков показало, что графики экспериментальных зависимостей в основном соответствуют теоретическим.

В табл. 1 приведены выборочные коэффициенты корреляции, средние квадратические отклонения и их доверительные пределы, соответствующие экспериментальным уравнениям регрессии.

Таблица 1.

Уровни ограничения C_1	Выборочные коэффициенты корреляции r	Доверительные пределы для значения генерального коэффициента корреляции r_0	Средние квадратические отклонения в выборках σ_N	Доверительные пределы для значения среднего квадратического отклонения генеральной совокупности σ_{0N}
0	0,996	$0,99 \leq r_0 < 0,998$	7,96	$4,776 < \sigma_{0N} < 11,104$
0,4 $\sigma \xi_{\min}$	0,99	$0,97 \leq r_0 < 0,995$	9,08	$5,448 < \sigma_{0N} < 12,712$
0,72 $\sigma \xi_{\min}$	0,88	$0,73 \leq r_0 < 0,94$	9,62	$5,772 < \sigma_{0N} < 13,468$
1,625 $\sigma \xi_{\min}$	0,76	$0,51 \leq r_0 < 0,89$	11,8	$7,08 < \sigma_{0N} < 16,52$
2,13 $\sigma \xi_{\min}$	0,685	$0,37 \leq r_0 < 0,85$	12,7	$7,62 < \sigma_{0N} < 17,78$

Результаты исследований подтвердили наличие линейной корреляционной связи между частотой выбросов э. д. с. датчика на различных уровнях и средней скоростью потока пульпы. С увеличением уровня C_1 ослабляется линейная корреляционная связь между v и N и увеличивается погрешность измерения расхода пульпы.

Анализ осциллограмм позволяет утверждать, что выходной сигнал магнитоиндукционного датчика является последовательностью положительных и отрицательных импульсов напряжения, амплитуда которых возрастает с увеличением расхода и плотности пульпы, крупности материала и содержания в нем магнитного железа. Длительность импульсов и пауз между ними определяется как характером распределения твердого в потоке, так и его скоростью. При средней скорости потока 3,2 м/сек длительность импульсов и пауз в основном изменяется от 1 до 8 мсек. Преобладающее число импульсов имеет длительность 1—4 мсек. С повышением уровня ограничения длительность импульсов значительно сокращается, а паузы по длительности увеличиваются и меняются более равномерно.

ГЛАВА V. Разработка магнитоиндукционного расходомера

Исследование амплитудного метода контроля расхода пульпы магнитоиндукционным датчиком производилось в промышленных условиях на продукте питания гидроциклонов третьей стадии измельчения рудообогатительной фабрики НКГОКа.

По трубопроводу пульпа подавалась в канал магнитоиндукционного датчика ($D_y=40$ мм), а затем в мерную емкость. Расход пульпы в канале датчика определялся по времени заполнения пульпой мерной емкости, которое подсчитывалось электрическим счетчиком СБ 1/100, включенным в электродную схему. В точке выхода гидросмеси из пульпопровода датчика отбирались пробы, по которым определялась плотность пульпы, средневзвешенная крупность измельченного материала и содержание магнитного железа в твердом.

Измерение среднего значения выходного сигнала магнитоиндукционного датчика производилось с помощью схемы, включающей электронный усилитель, мостовой выпрямитель усиленного сигнала, сглаживающий фильтр, делитель напряжения и вторичный прибор ЭПП-120.

В процессе исследования было проведено 128 опытов с отбором проб пульпы. Установлено, что при малых расходах пульпы зависимость расхода Q от показаний прибора U близка к линейной. При увеличении расхода появляется нелинейность, которая резко увеличивается при $Q > 10,8$ м³/час.

Нелинейность зависимости $Q=f(U)$ объясняется влиянием индуктивной составляющей комплексного сопротивления измерительной обмотки датчика, которая изменяется вследствие наличия связи между частотой сигнала и скоростью потока пульпы. При малых скоростях потока пульпы наблюдается прямой участок зависимости. Так как с увеличением скорости пульпы спектр сигнала датчика смещается в область высших частот, индуктивная составляющая комплексного сопротивления измерительной обмотки датчика значительно увеличивается. Когда величина индуктивной составляющей начинает преобладать над активным сопротивлением входной цепи измерительного устройства, нелинейность зависимости $Q=f(U)$ резко возрастает. Экспериментально подтверждено, что при включении дополнительного активного сопротивления последовательно с измерительной обмоткой датчика линейный участок зависимости $Q=f(U)$ расширяется.

В результате обработки данных для линейных участков $0 \leq Q \leq 10,8 \text{ м}^3/\text{час}$ и $0 \leq Q \leq 19,8 \text{ м}^3/\text{час}$ зависимостей, полученных при исследовании датчика с отбором и без отбора проб, вычислены уравнения:

$$Q = 0,8 + 0,368U; \quad (13)$$

$$Q = 1,485U - 2,5. \quad (14)$$

Коэффициенты корреляции соответственно равны 0,783 и 0,81. Абсолютные средние квадратические погрешности составляют соответственно $1,9 \text{ м}^3/\text{час}$ и $2,84 \text{ м}^3/\text{час}$.

Магнитоиндукционный датчик совместно с частотной измерительной схемой исследовался на рудообогатительной фабрике НКГОКа на стендовой установке, обеспечивающей ступенчатое изменение расхода от $9,6 \text{ м}^3/\text{час}$ до $20,3 \text{ м}^3/\text{час}$.

Схема измерения частоты следования импульсов включала электронный усилитель, триггер, преобразующий положительные импульсы произвольной формы в прямоугольные, нормализатор импульсов, выходной узел, преобразующий частоту следования нормализованных импульсов в постоянный ток, вторичный прибор ЭПД-12.

В процессе исследования было проведено 63 опыта с отбором проб пульпы. При обработке экспериментальных данных получено уравнение зависимости расхода пульпы Q от показаний прибора N :

$$Q = 3,23 + 2,77 N, \quad (15)$$

Коэффициент корреляции $r = 0,962$, а абсолютная средняя квадратическая погрешность измерения расхода пульпы составила $0,817 \text{ м}^3/\text{час}$.

Из результатов проведенных опытов следует, что при изменении параметров потока примерно в одинаковых пределах связь между расходом пульпы и частотой следования импульсов значительно теснее, чем между расходом пульпы и средним значением выходного сигнала датчика. Поэтому для дальнейшей разработки был принят частотный метод измерения расхода пульпы.

В процессе теоретических исследований измерительной цепи с магнитоиндукционным преобразователем были получены графики зависимости $U_{вх} = f(v)$ при различных $R_{вх}$, которые совпадают с соответствующими экспериментальными зависимостями. Установлено, что зависимость $U_{вх} = f(Q)$ будет линейной при $R_{вх} = 300 - 500 \text{ ком}$.

Для измерения частоты импульсов была разработана электрическая схема магнитоиндукционного расходомера. Выходной сигнал датчика усиливается двухкаскадным электронным усилителем. Амплитудным дискриминатором усиленные положительные импульсы преобразуются в прямоугольные импульсы, которые с помощью нормализатора подвергаются дополнительному формированию. В выходном узле на диодах частота прямоугольных импульсов с неизменной амплитудой и длительностью преобразуется в постоянное напряжение, измеряемое вторичным прибором ЭПП-120. Исследованиями установлено, что при дифференцировании импульсов в выходном узле измерительная характеристика прибора отличается высокой линейностью и меньшей чувствительностью к изменению анодного напряжения. Также установлено, что для обеспечения стабильности показаний в нем должны использоваться диоды с большим обратным сопротивлением.

Проверка работы магнитоиндукционного расходомера производилась в промышленных условиях на продукте питания гидроциклонов. На 5-й секции рудообогатительной фабрики НКГОКа на стенде монтировался датчик ($DU = 40 \text{ мм}$), измерительный блок и прибор ЭПП-120.

Для определения плотности γ пульпы, средней крупности $K_{ср}$ и содержания магнитного железа $F_{ем}$ в твердом литровой кружкой отбирались пробы. Одновременно с отбором проб фиксировались показания α прибора ЭПП-120 и определялся расход Q пульпы.

В опытах было отобрано и обработано 72 пробы. Измеряемые параметры при этом изменялись в пределах: $\gamma = 1,2 \div 2,0 \text{ кг/л}$; $K_{ср} = 0,06 \div 0,18 \text{ мм}$; $F_{ем} = 3,8 \div 5,2 \text{ усл. ед}$; $Q = 9 \div 20 \text{ м}^3/\text{час}$; $\alpha = 7 \div 19 \text{ дел}$.

Кроме этого было проведено еще 223 опыта с определением расхода пульпы и фиксацией показаний вторичного прибора. Уравнение регрессии, вычисленное по данным 295 опытов, имеет вид:

$$Q = 0,767 \alpha + 4,32 \quad (16)$$

Коэффициент корреляции составил 0,91, что свидетельствует о высокой линейности и тесноте связи между α и Q . Изменение плотности пульпы, средней крупности твердого и содержания в нем магнитного железа в широких пределах незначительно влияет на показания магнитоиндукционного расходомера.

ГЛАВА VI. Испытания расходомера в промышленных условиях

Магнитоиндукционный расходомер испытывался на продукте питания гидроциклонов третьей стадии измельчения на рудообогатительной фабрике Ново-Криворожского горно-обогатительного комбината. В 1967 году на пятой секции фабрики был испытан опытный образец магнитоиндукционного расходомера с диаметром канала $D=40$ мм. Расходомер устанавливался на стенде, смонтированном на площадке гидроциклонов.

Целью испытания являлось определение зависимости показаний вторичного прибора α от объемного расхода пульпы Q , а также влияния параметров потока пульпы на показания прибора. Для этого при различных показаниях вторичного прибора расходомера определялся расход пульпы и в каждом третьем опыте отбирались пробы. При испытании прибора было проведено 282 опыта и отобрано 94 пробы. Уравнения связи, пределы изменения исследуемых параметров и коэффициенты корреляции приведены в табл. 2.

Таблица 2

Уравнения связи	Пределы изменения исследуемого параметра		Коэффициент корреляции r
	мин.	макс	
$Q = 0,846 \alpha + 4,882$	10,0 м ³ /час	21,0 м ³ /час	0,976
$\alpha = -7,17\gamma + 24,08$	1,14 кг/л	1,75 кг/л	0,235
$\alpha = -146,5K_{cp} + 22,14$	0,049 мм	0,083 мм	0,299
$\alpha = 0,1897\beta - 0,074 - 1,72$	64,9 %	86,2 %	0,256
$\alpha = 0,124F_{em} + 13,76$	4,48 усл. ед.	5,15 усл. ед.	0,006

Результаты испытаний показали, что магнитоиндукционный расходомер удовлетворяет требованиям технологического процесса на рудообогатительных фабриках.

Абсолютная средняя квадратическая погрешность показаний расходомера составила 0,665 м³/час. Она является несколько завышенной, так как в нее входит погрешность, вызванная вариацией показаний прибора при неизменном расходе, и погрешность определения расхода с помощью мерной емкости.

В 1969 г. был изготовлен опытный образец магнитоиндукционного расходомера с диаметром канала 203 мм. Ввиду сложности измерений больших расходов пульпы с помощью

мерной емкости испытание прибора производилось совместно с гидродинамическим расходомером. На напорном трубопроводе пескового насоса устанавливались магнитоиндукционный и гидродинамический расходомеры на диапазон измерения расхода 0—630 м³/час. При различных показаниях гидродинамического расходомера S фиксировались показания магнитоиндукционного расходомера α и в точке выхода пульпы из трубопровода, вваренного в распределительную коробку гидроциклонов, отбирались пробы для определения плотности гидросмеси. По плотности пульпы и показаниям гидродинамического расходомера вычислялся действительный объемный расход $Q_{ист}$ гидросмеси. При испытании расходомера было проведено 269 опытов, в которых расход пульпы изменялся от 285 до 435 м³/час. При обработке опытных данных получено уравнение связи между показаниями магнитоиндукционного расходомера α и расходом пульпы $Q_{ист}$.

$$Q_{ист} = (0,396 \alpha + 2,955) 63 \text{ м}^3/\text{час} \quad (17)$$

Так как диапазон изменения расхода пульпы в период испытаний в условиях обогатительной фабрики был не очень широк, коэффициент корреляции составил $r=0,76$, а относительная средняя квадратическая погрешность магнитоиндукционного расходомера—4,17%. Полученная погрешность является завышенной, так как в нее входит погрешность считывания показаний приборов, которая может быть значительной ввиду динамики процесса и различной постоянной времени расходомеров, погрешность гидродинамического расходомера, вызванная пульсациями потока и плотности пульпы и некоторые другие погрешности, которые трудно учесть.

По уравнению (17) шкала вторичного прибора магнитоиндукционного расходомера градуировалась в единицах измерения расхода (м³/час). В течение 1970 года при эксплуатации расходомера производилось наблюдение за его работой. Установлено, что отклонения показаний расходомеров не превышают значений, которые имели место при тарировке магнитоиндукционного расходомера.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

1. Произведен анализ существующих методов измерения расхода пульпы. Установлено, что в настоящее время практически отсутствуют устройства контроля расхода пульпы,

отвечающие требованиям, предъявляемым к техническим средствам автоматики на железорудных обогатительных фабриках.

2. Предложен и теоретически обоснован новый метод контроля расхода пульпы, основанный на измерении действующего значения и среднего числа выбросов в единицу времени производной случайной функции объема твердого в небольшом объеме пространства, через который движется поток пульпы.

3. Разработан датчик для контроля расхода пульпы с ферромагнитными включениями. Исследованы зависимости выходного сигнала датчика от основных его конструктивных параметров и параметров измеряемого потока. Даны рекомендации по выбору оптимальных значений конструктивных параметров датчика.

4. Разработаны и испытаны в промышленных условиях устройства с диаметром канала 40 мм и 203 мм для контроля расхода пульпы, обоснован выбор основных элементов их измерительной схемы.

5. Длительные испытания разработанных устройств в промышленных условиях подтвердили высокую надежность, достаточную точность контроля расхода пульпы и возможность их использования в системе автоматического управления всей технологической линией магнитообогатительной фабрики.

6. Магнитоиндукционный расходомер эксплуатируется на РОФ НКГОКа в питании гидроциклонов третьей стадии измельчения. Применение его в системе автоматического управления всей технологической линией магнитообогатительной фабрики даст значительный экономический эффект.

ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ

1. Кауль Б. И., Гуленко Т. И., Лозовой П. Г., Кондратец В. А., Гончаров Н. В., Носов Г. Р. Метод измерения крупности продуктов дробления и измельчения. Сб. «Горная электромеханика и автоматика». Изд. Харьковского университета, 1967, № 9.

2. Гуленко Т. И., Кауль Б. И., Лозовой П. Г., Кондратец В. А., Гончаров Н. В., Носов Г. Р. Лабораторные исследования магнитоиндукционного гранулометра. Изв. вузов. Горный журнал, 1967, № 7.

3. Кауль Б. И., Гуленко Т. И., Кондратец В. А., Лозовой П. Г., Гончаров Н. В., Носов Г. Р., Кашурникова З. Н. Промышленные исследования магнитоиндукционного гранулометра. Изв. вузов. Горный журнал, 1967, № 11.

4. Лепеха А. Ф., Кондратец В. А. Устройство автоматического контроля расхода пульпы и тяжелых суспензий. НИИАчермет. Сб. аннотаций научно-исследовательских работ, законченных в 1967 г., Днепропетровск, 1968.

5. Носов Г. Р., Кондратец В. А., Гуленко Т. И. Измерение расхода пульпы и суспензии по параметрам случайного процесса распределения частиц твердого в потоке. Сб. «Обогащение полезных ископаемых». Изд. «Техніка», Киев, 1969, вып. 5.

6. Носов Г. Р., Кондратец В. А., Гуленко Т. И. Экспериментальная проверка измерения расхода пульпы по параметрам случайного процесса распределения ферромагнитных частиц в потоке. Сб. «Горная электромеханика и автоматика». Изд. Харьковского университета, 1970, вып. 15.

7. Носов Г. Р., Марюта А. Н., Кондратец В. А., Гуленко Т. И. Магнитоиндукционный метод измерения расхода пульпы с ферромагнитными частицами. Изв. вузов. Горный журнал, 1969, № 7.

8. Носов Г. Р., Марюта А. Н., Кондратец В. А., Гуленко Т. И. Метод измерения расхода пульпы на железорудных обогатительных фабриках магнитоиндукционным датчиком. Сб. «Обогащение полезных ископаемых». Изд. «Техніка», Киев, 1970, вып. 6.

9. Кондратец В. А. Частотный метод измерения расхода пульпы магнитоиндукционным датчиком. Научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт автоматизации черной металлургии (НИИАчермет). Сб. «Автоматизация горнорудного и металлургического производства», Днепропетровск, 1969, вып. 6.

10. Кондратец В. А., Гуленко Т. И., Гончаров Н. В., Кашурникова З. Н. Испытание бесконтактного магнитоиндукционного расходомера. Горный журнал, 1969, № 5.

Подписано к печати 20-1-71 г,
Формат бумаги 60x84 ¹/₁₆ Объем 1,5 п. л.

БТ 03578

Криворожская типография 360—200