© А.П. Овчинников, 2008

УДК 621.384

А.П. Овчинников

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ РАСХОДОМЕР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПУЛЬП

Описан прибор, который может быть использован в авторизированных системах измерения и регулирования концентрации ферромагнитных частиц в суспензиях и пульпах при обогащении углей и других полезных ископаемых, для определения содержания измельченных железных и никелевых руд в пульпах, для контроля магнитных сепараторов

Семинар № 13

Расходомеры построенные на электромагнитном методе измерения параметров однофазных потоков (расхода, скорости и т.д.) или однородных по электропроводности двухфазных потоков, широко используется во многих отраслях промышленности. Однако измерение расхода двухфазных потоков и потоков с осе несимметричным профилем скорости, с помощью электромагнитного расходомера общепромышленной конструкции дает низкую точность. В горной промышленности на ГОК в системах комплексной автоматизации процесса гидротранспортирования, обогащения, остро встает вопрос измерения параметров пульпы, а именно: расход, скорость, плотность пульпы. В некоторых технологических и производственных процессах важна информация не только о расходе пульпы, но и о расходе твердой фазы пульпы. Так как зная его можно судить о количестве полезного ископаемого, выданного на поверхность или транспортируемом по пульпопроводу к потребителю или о режиме работы гидроучастка. С этой целью применяют связку двух приборов расходомера и плотномера. Применяемые для этой цели расходомеры, как правило, электромагнитные, а плотномеры – радиоизотопные. Включения датчиков данных типов в пульпопровод не создает местных гидродинамических сопротивлений и не ведет к заилению трубопровода.

При измерении расхода пульпы, содержащей ферромагнитные включения железорудного концентрата (магнетит) применение электромагнитного расходомера общепромышленной конструкции дает погрешность порядка 20 %, из-за завышения значения расхода, так как в алгоритме обработки не учитывается магнитная проницаемость среды. Для снижения погрешности измерения необходимо доработать конструкцию расходомера, введя поправку на магнитную проницаемость среды.

Электромагнитный расходомер для учета пульпы железорудного концентрата построен на базе несколько иной измерительной системы, чем приборы общепромышленного назначения. В первичном преобразователе под изоляционным покрытием из полиуретана размещена индукционная катушка опорного сигнала (КОС), выполненная в виде двухзаходной спирали; витки катушки проведены специальному закону. Сигнал в катушке, индуцированный изменяющимся магнитным полем, пропорционален индукции магнитного поля в рабочей зоне канала.

По сути дела, измеряемой средой является пульпа железорудного концентрата, состоящая из воды и помола железной руды с переменной плотностью и магнитной проницаемостью.

Пульпа имеет следующие характеристики:

- плотность жидкой пульпы 1,2 – 1,7 т/м^3,
- скорость потока 0,2 – 2,5 м/сек,
- размер частиц от 0,05 мм (90-92) % до 0,28 мм (около 0,2 %),
- содержание Fe в твердой составляющей до 70 %.
- плотность твердой фазы пульпы (Fe_2O_3) 5,1 т/м^3.

Так как пульпа движется при скоростях превышающих критическую скорость [1] и принимая во внимание малый размер частиц твердой фазы, можно предположить, что распределение электропроводности пульпы по сечению канала однородно и не вносит существенную погрешность в процессе измерения. Магнитная проницаемости пульпы постоянна во всем сечении канала. Тогда сигнал электромагнитного расходомера имеет зависимость от распределения скорости потока и магнитной проницаемости среды.

Для подтверждения зависимости сигнала электромагнитного расходомера от магнитной проницаемости потока пульпы был произведен эксперимент. Для моделирования влияния магнитной проницаемости измеряемой среды на магнитное поле расходомера были разработаны и изготовлены контейнеры, помещаемые в канал исследуемого расходомера. Контейнеры выполнены из не магнитного материала – пластика. Контейнеры заполнялись равномерно размешенной смесью железорудного концентрата, полученного с Лебединского ГОК, с песком в пропорциях, соответствующих изменению плотности жидкой пульпы 1.2-1.7 т/м^3.

По предварительным расчетным данным изменение магнитной проницаемости среды должно сказаться на изменении пространственной конфигурации магнитного поля. Это и обнаружено при испытаниях.

В ходе проведения эксперимента были сняты осциллограммы сигналов тока питания индукторных катушек расходомера, сигнала с катушки опорного сигнала для трех случаев, когда канал первичного преобразователя был пуст – что соответствует заполнению канала водой и при установленном в первичный преобразователь контейнере наполненного 10 % и 40 % смесью магнетита с песком, имитирующем жидкую пульпу определенной плотности.

Индукторные катушки первичного преобразователя запитывались прямоугольными импульсами тока. На рис. 1 показана осциллограмма одного импульса тока питания индуктора первичного преобразователя электромагнитного расходомера. Увеличение магнитной проницаемости среды приводит к изменению фронта импульса, чем выше магнитная проницаемость тем более растянут фронт. Частицы магнетита в первичном преобразователе являются как бы ферромагнитным сердечником. Получить сведения о составе пульпы, можно используя в качестве информационной характеристики сигнала, длительность фронта импульса, однако это сделать сложно из-за низкой информативности сигнала.

На рис. 2, *а* показано индуцируемое напряжение в катушке опорного сигнала. Чем больше магнитная проницаемость среды тем больше амплитуда импульса в пике.

Катушка опорного сигнала КОС за счет сцепления своих витков с магнит-

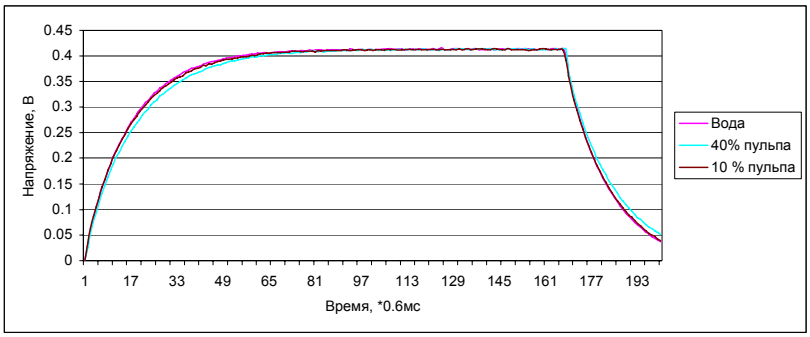
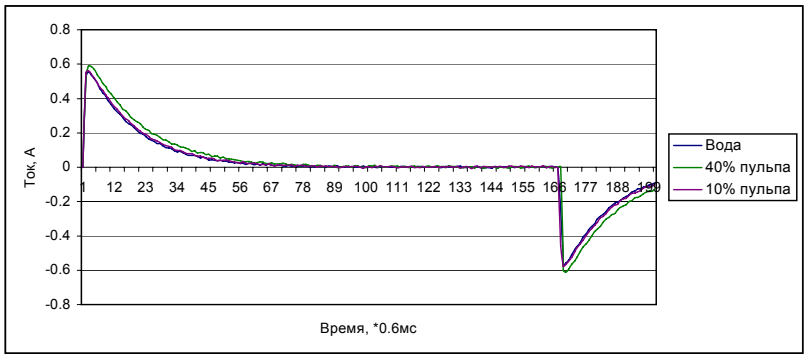


Рис. 1. Осциллограмма тока питания индуктора



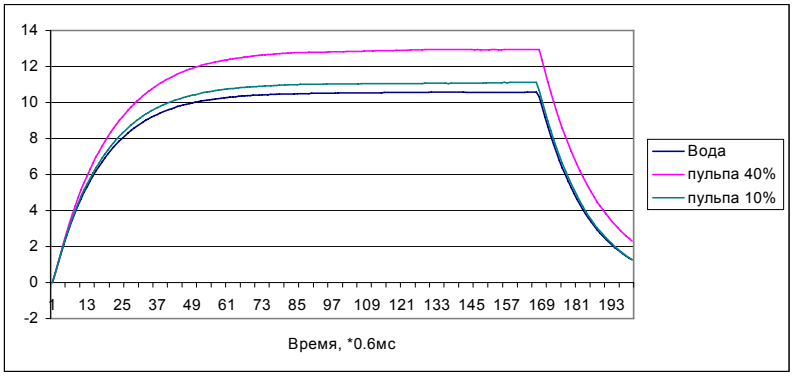


Рис. 2. а) Индуцируемое напряжение в КОС; б) Проинтегрированное напряжение с КОС

ным потоком, образованным индукторными катушками первичного преобразователя электромагнитного расходомера, производит дифференцирование сигнала тока питания индуктора. Величина магнитного потока в канале первичного преобразователя за счет изменения магнитной проницаемости среды увеличивается и тем самым приводит к изменению наведенного в КОС сигнала. Чтобы судить об изменении сигнала с КОС его необходимо проинтегрировать, т.е. при-вести к форме ис-

ходного токового сигнала, подаваемого на индукторные катушки возбуждения.

На рис. 2, *б* показано проинтегрированное напряжение с катушки опорного сигнала. В данном случае более четко видно влияние магнитной проницаемости среды на значение напряжения снимаемого с КОС.

По методу наименьших квадратов была проведена аппроксимация полученных данных. Функция, описывающая влияние магнитной проницаемости среды на сигнал, снимаемый с КОС линеен и описывается функцией

$$f(x) = 10.502 + 0.059 \cdot x$$

Для компенсации влияния магнитной проницаемости пульпы в систему обработки данных, необходимо ввести и использовать в расчетах проинтегрированный во времени сигнал с КОС, характеризующий изменение магнитной проницаемости пульпы, протекающей в трубопроводе. Поскольку магнитная проницаемость измеряемой среды меняться не резко, достаточно пересчитывать расход с учетом средней магнитной проницаемости за одну секунду. Используя в системе обработки данных три величины: напряжение на электродах, ток питания индуктора и напряжение на катушках опорного сигнала можно вычислить расход жидкой пульпы, расход твердой фазы пульпы, процентное содержание магнетита в твердой пульпе. Так, например, алгоритм расчета объемного значения пульпы с учетом ее магнитной проницаемости следующий:

$$Q_0 = \frac{k \cdot U_{электр}}{I}, \quad Q = \frac{Q_0}{\mu} = k_0 \frac{4Q_0 IR\tau C_{КОС}}{\pi D^2 \int U_{КОС} dt},$$

где Q_0 - сигнал прибора без коррекции на магнитную среду; *k* – калибровочный коэффициент; *I* – ток питания индуктора; $U_{электр}$ - напряжение на электродах; Q – сигнал прибора с коррекцией на магнитную среду; $U_{КОС}$ – напряжение на катушке опорного сигнала; t - время; *R* - сопротивление, включенного в цепь тока; $C_{КОС}$ - постоянная катушки опорного сигнала, м^2; *D* - диаметр канала; τ - постоянная интегрирования, с; k_0 - калибровочный коэффициент, используемый при калибровке от КОС.

Прибор, построенный по данной схеме, может быть использован в авторизированных системах измерения и регулирования концентрации ферромагнитных частиц в суспензиях и пульпах при обогащении углей и других полезных ископаемых, для определения содержания измельченных железных и никелевых руд в пульпах, для контроля магнитных сепараторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Асауленко И.А., Витошкин Ю.К., Карасик В.М., Криль С.И., Очеренко В.Ф.* Теория и прикладные аспекты гидротранспортирования твердых материалов, Киев, Наукова думка, 1981.

2. *Таблицы* физических величин. Справочник. Под ред. Акад. И.К. Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976. ГИАБ

Коротко об авторе

Овчинников А.П. – Московский государственный горный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 13 симпозиума «Неделя горняка-2008»
Рецензент д-р техн. наук, проф.