

УДК 621.3.084.2

Иноземцев Максим Александрович, старший преподаватель
(Филиал КузГТУ в г. Прокопьевске, г. Прокопьевск)
Inozemcev Maxim, senior lecturer
(T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Prokopievsk branch,
Prokopievsk)

ВЫБОР И РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ДАТЧИКА ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ВЕЛИЧИНЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ КРОВЛИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

SELECTION AND DEVELOPMENT OF THE LINEAR DISPLACEMENT SENSOR STRUCTURE FOR THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF MINING ROOF DISPLACEMENT

В работе представлено обоснование типа и конструкции датчика линейных перемещений для системы автоматизированного контроля величины смещений кровли горных выработок угольных шахт. Приводится описание конструкции первичного преобразователя, микропроцессорного блока обработки сигналов, представлено описание прототипа датчика.

The paper presents the rationale for the type and structure of the sensor linear displacements for the automated control system of the displacement amount of the roof mine workings in coal mines. A description of the primary converter design of the microprocessor-based signal processing unit is shown, and also sensor prototype description is presented.

Правила безопасного ведения горных работ [1] предписывают на участках, имеющих сложные геологические условия, проводить периодический контроль параметров кровли горных выработок. С этой целью производится установка глубинных реперов, например, РГ-3. Снятие показаний данного осуществляется инженерно-техническим персоналом путем отсчета по шкале репера. Данный способ при всей его простоте не обеспечивает оперативности получения данных, кроме того, связан с влиянием «человеческого фактора» [2]. Поэтому, наиболее перспективным способом в настоящее время является использование автоматизированных систем контроля, обеспечивающих непрерывный контроль величины перемещений. Архитектура системы предусматривает использование в качестве первичного преобразовательного элемента датчика линейных перемещений,

осуществляющего преобразование механического перемещения в пропорциональный электрический сигнал.

В настоящее время известны десятки конструкций датчиков перемещений, основанных на различных физических принципах получения электрического сигнала. К ним относятся: резистивные, емкостные, пьезоэлектрические, индуктивные и другие датчики [3]. Однако применение того или иного вида датчика не всегда возможно в условиях подземных горных выработок. Так, наличие угольной пыли и высокая влажность делают практически невозможным использование резистивных или емкостных датчиков. Кроме того, существенные ограничения накладываются на конструкцию датчика из-за опасности выбросов метана, что предъявляет высокие требования по искрозащите и взрывобезопасности.

Конструкция датчика должна обеспечивать возможность измерения перемещений в трех уровнях и обладать удобством монтажа на объекте, для чего в одном корпусе целесообразно объединить три первичных преобразователя.

В качестве первичного преобразователя был выбран индуктивный преобразователь, принцип действия которого основан на изменении величины индуктивности катушки при перемещении вдоль ее оси сердечника.

Принцип действия индуктивных преобразователей основан на зависимости индуктивности и полного электрического сопротивления намагничивающей обмотки от значения комплексного магнитного сопротивления магнитной цепи преобразователя, которое является функцией длины воздушного промежутка в магнитной цепи преобразователя. По конструктивному исполнению различают преобразователи с переменной длиной воздушного промежутка, преобразователи с сердечником (плунжером), преобразователи с зубчатым воздушным промежутком и преобразователи с распределенными параметрами [3].

Анализируя требования к конструкции датчика, его техническим и эксплуатационным характеристикам, при разработке макета датчика был выбран преобразователь плунжерного типа, индуктивность которого является функцией перемещения сердечника внутри намагничивающей обмотки.

Схематически конструкция такого преобразователя показана на рис. 1. Преобразователь состоит из неподвижной обмотки 1, и подвижного штока (сердечника, плунжера) 2, изготовленного из ферромагнитного материала и перемещающегося по оси катушки. Данный тип преобразователя позволяет определять величины перемещений в диапазоне от 10 до 150 мм, что вполне достаточно для решения поставленной задачи.

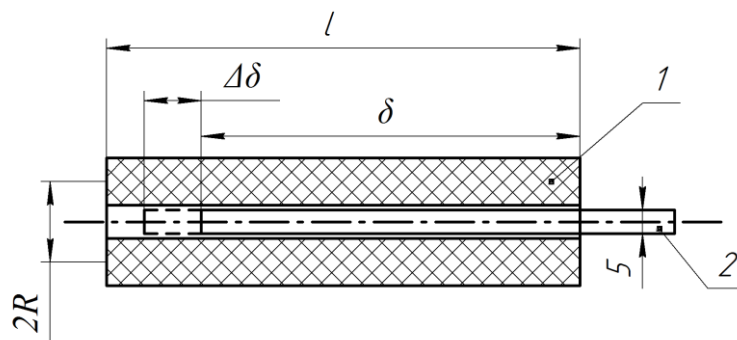


Рис. 1 – Схематическое устройство индуктивного преобразователя плунжерного типа

Приближенная зависимость индуктивности от величины перемещения может быть описана следующей формулой [3]:

$$L \approx \mu_0 \left[\frac{2\pi R^2 w^2}{l} + (\mu_{\text{эф}} - 1) \frac{2\pi R_{\text{см}}^2 w^2 \delta}{l} \right], \quad (1)$$

где μ_0 – магнитная проницаемость сердечника, Гн/м;

R – радиус обмотки катушки, м;

w – количество витков обмотки;

l – длина обмотки, м;

$\mu_{\text{эф}}$ – эффективная магнитная проницаемость магнитной цепи, Гн/м;

$R_{\text{см}}$ – радиус сердечника, м;

δ – величина перемещения, м;

Эффективная магнитная проницаемость магнитной цепи определяется по формуле

$$\mu_{\text{эф}} = \frac{\mu_0 \mu_{\text{ф}}}{\mu_0 - \frac{l_{\text{п}}}{l_{\text{сум}}} \mu_{\text{ф}}}, \quad (2)$$

где μ_0 – магнитная проницаемость воздуха, Гн/м;

$\mu_{\text{ф}}$ – магнитная проницаемость ферромагнитного сердечника, Гн/м;

$l_{\text{п}}$ – длина магнитопровода, проходящая через воздух, м;

$l_{\text{сум}}$ – суммарная длина магнитопровода, м.

Индуктивные преобразователи плунжерного типа обладают такими достоинствами, как приемлемая точность измерений, небольшие габариты, простота изготовления, отсутствие электрического контакта подвижного штока датчика и его электрических цепей, что очень важно при установке в искроопасных и взрывоопасных зонах. Однако такая конструкция имеет ряд недостатков, как подверженность воздействию внешних магнитных полей, меньшая чувствительность, чем у преобразователей с переменным

воздушным промежутком и сложность получения функции преобразования из-за неравномерности распределения магнитного поля внутри катушки при различных положениях штока датчика.

В основу датчика был положен ранее разработанный прототип, показанный на рис. 2, и представляющий собой цилиндр наружным диаметром 50 мм и длиной 120 мм. Внутри установлены три индуктивных преобразователя для обеспечения возможности измерения в трех уровнях, схема обработки сигнала и его преобразования для последующей передачи по интерфейсу RS-485 или аналогичному. Вся конструкция помещена в корпус для защиты от внешних воздействий. Шток диаметром 6 мм выполнен из стали и свободно перемещается внутри корпуса датчика. Данный прототип не предназначен для установки в шахте, и создавался с целью определения характеристик преобразователя и тестирования конструкции.



Рис. 2 – Прототип датчика

С целью обеспечения требований к выходному электрическому сигналу, в прототипе используется микропроцессорная схема обработки сигналов от первичных преобразователей. Основу данной схемы составляет микроконтроллер ATmega, выполняющий функции измерительного устройства (путем использования встроенного АЦП), а также выполняющий обработку сигналов в соответствии с программой и обеспечивающий формирование выходных сигналов для их последующей передачи.

Так как непосредственное определение величины индуктивности катушки, установленной внутри корпуса датчика, является непростой задачей, то в прототипе реализован расчет индуктивности по измеренному значению индуктивного сопротивления катушки на заданной частоте переменного тока.

Программой микроконтроллера формируется цифровой выходной сигнал, содержащий информацию о величинах перемещений штока каждого преобразователя, который впоследствии может быть передан по любому интерфейсу путем использования соответствующего преобразователя.

Очень важной характеристикой является выходная характеристика датчика. Идеальным случаем является линейная зависимость выходного сигнала от величины перемещения штока датчика, однако, выбранная конструкция обладает нелинейной характеристикой, что требует калибровки датчика перед его установкой. Данные о параметрах калибровки предполагается помещать в программу обработки сигнала, записываемую во внутреннюю память микроконтроллера.

Для возможности промышленного внедрения разрабатываемого датчика необходимо выполнение требований не только к его метрологическим характеристикам, но также к искрозащите и взрывозащите, к технологичности установки и монтажа на объекте, а также, к снижению себестоимости его изготовления.

Описанное конструктивное исполнение датчика позволит достаточно просто установить его в кровле горной выработки, обеспечивая возможность измерения перемещения в трех различных уровнях.

Дальнейшая работа над датчиком будет производиться в части определения его реальных метрологических характеристик, разработки решений по их улучшению, а также над оптимизацией алгоритма обработки сигналов первичных преобразователей.

Список литературы

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». Серия 05. Выпуск 40. -М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014. - 200 с.
2. Абрамович, А.С. Предпосылки создания системы автоматизированного мониторинга и учета смещений кровли подземных выработок с целью повышения безопасности ведения горных работ / А.С. Абрамович, Е.Ю. Пудов, Е.Г. Кузин, А.А. Кавардаков, В.А. Бакин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. – №5. – с. 85 – 90.
3. Датчики: Справочное пособие / Под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука. – М.: Техносфера, 2012. – 624 с.