

Н. Н. Семаков¹, А. Ф. Павлов², С. А. Казанцев²✉

Феррозондовый нуль-индикатор магнитной индукции

¹Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

²Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: kazantsevsa@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Представлен опыт разработки однокомпонентного магнитометра на базе миниатюрного феррозондового датчика для измерения магнитной индукции. Феррозондовый датчик используется как нуль-индикатор для определения направления вектора магнитного поля. Описан опыт изготовления феррозондового датчика и принцип его работы.

Ключевые слова: датчик, ферромагнитный сердечник, магнитное поле

N. N. Semakov¹, A. F. Pavlov², S. A. Kazantsev²✉

Fluxgate magnetic induction zero-indicator

¹Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

²Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy
of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: kazantsevsa@ipgg.sbras.ru

Abstract. This paper presents the development of a single-component magnetometer based on a miniature fluxgate sensor for measuring magnetic induction. The fluxgate sensor is used as a zero-indicator to determine the direction of the magnetic field vector. The fabrication of the fluxgate sensor and its operating principle are described.

Keywords: sensor, ferromagnetic core, magnetic field

Измерения магнитного поля земли (МПЗ) проводятся в большинстве случаев с помощью протонно-прецессионного магнитометра. Такой прибор измеряет абсолютную величину напряженности магнитного поля, но не его направление. Создание высокочувствительного Феррозондового Индикатора Направлений Ортогональных Магнитной Индукции (ФИНОМИНа) актуально как для обсерваторских и полевых магнитных работ, так и для исследований в тех областях, где нужна информация о точном направлении лабораторного магнитного поля в конкретной точке. Проблема разработки комплекса "размагниченный теодолит - ФИНОМИН" по своему решается единичными производителями в Европе и Северной Америке. В России известен портативный феррозондовый инклинометр-деклинометр на немагнитном теодолите LEMI-204 производства Львовского центра Института космических исследований Украины. В настоящее время доступен ограниченно.

В полевых условиях для получения ориентации вектора напряженности магнитного поля используется феррозондовый магнитометр. Один из вариантов

такого магнитометра, не уступающий зарубежным образцам по чувствительности и превосходящий их по потребляемой энергоемкости, был разработан и изготовлен в Институте нефтегазовой геологии и геофизики.

Фиксации указанных ортогональных положений магнитной оси датчика-индикатора в горизонтальной и вертикальной плоскостях для измерения углов склонения и наклона осуществляется немагнитным теодолитом, к трубе которого крепится датчик. Размагничивание теодолитов с немагнитными вертикальными осями особой проблемой не является.

Несколько экземпляров феррозондовых магнитометров успешно применяется как в полевых работах, так и в процессе обучения студентов университета.

Феррозондовый магнитометр состоит из двух основных частей это феррозондовый датчик и блок измерения и индикации. Феррозондовый магнитометрический датчик построен по классической схеме [1] (рис 1).

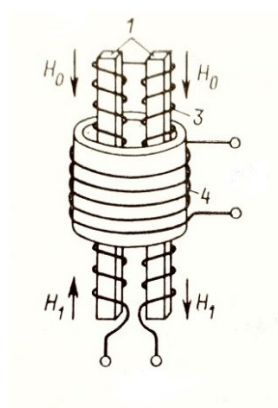


Рис. 1. Конструкция феррозондового датчика

Датчик содержит два магнитопроводящих сердечника 1 на основе плоской магнитной пленки из аморфного ферромагнитного сплава. На них расположены две, включенных встречно, катушки возбуждения 3 и третья измерительная катушка 4.

Применение сердечников из ленточного магнитопровода, на основе плоской магнитной пленки из аморфного ферромагнитного сплава обеспечивает повышение частоты возбуждения до десятков килогерц, что в свою очередь обеспечивает снижение внутренних шумов датчика.

Блок измерения и индикации (рис. 2) в свою очередь состоит из опорного генератора, усилителя и формирователя сигнала, катушки возбуждения, приемной катушки, селективного усилителя, фазового детектора, усилителя и индикатора. Блок питания батарейный.



Рис. 2. Блок схема феррозондового индикатора.

Работает устройство следующим образом. С генератора сигнал частотой порядка 10 кГц усиливается и подается на катушки возбуждения. Колебательный контур этой катушки переменными электронными компонентами настраивается в резонанс на частоту генератора по максимуму выходного сигнала. Так как катушки возбуждения включены встречно, то при подаче на них тока сердечник переманичивается до насыщения, возникающие магнитные поля направлены встречно (H_1 рис. 1) и при отсутствии внешнего магнитного поля, ЭДС в измерительной катушке будет равна нулю. Сердечники переманичиваются по предельной петле гистерезиса. Внешнее поле (H_0 рис. 1) нарушает симметрию переманичивания, индуцируя в приемной обмотке сигнал, пропорциональный величине внешнего поля. В определенный момент времени один из сердечников окажется намагничен до насыщения, и его магнитная проницаемость резко уменьшится, а второй сердечник еще не достигнет насыщения, так как внешнее и внутреннее магнитные поля будут для него в этот момент встречными. Магнитная проницаемость этого сердечника будет достаточно велика. Через половину периода уже в первом сердечнике магнитные поля будут вычитаться, а во втором складываться. Таким образом в измерительной обмотке будет возникать ЭДС с удвоенной частотой, примерно 20 кГц. Приемная катушка в свою очередь настраивается в резонанс по максимальному сигналу на удвоенной частоте генератора. Затем сигнал усиливается селективным усилителем, детектируется по фазе и поступает на выходной усилитель. Выходной усилитель выдает сигнал на индикатор. Наиболее простым индикатором может служить миллиамперметр с нулевой точкой отсчета посередине шкалы. Величина тока и отклонение стрелки будут пропорциональны величине внешнего магнитного поля.

Диаграмма направления чувствительности приемной катушки имеет вид восьмерки. В зависимости от направления внешнего магнитного поля и продольной оси датчика, фаза сигнала в одной половине диаграммы будет отличаться от фазы сигнала в другой половине диаграммы на 180 град. С минимальной чувствительностью

при случае ортогональности наружного магнитного поля и продольной оси приемной катушки.

В качестве индикатора выходного сигнала используется стрелочный микроамперметр. При проведении полевых абсолютных геомагнитных измерений стрелочный прибор имеет ряд технологических преимуществ. Земное магнитное поле все время меняется, при этом стрелка микроамперметра колеблется, но глаз наблюдателя как бы «интегрирует» ее положение, определяя нулевое положение, соответствующее перпендикуляру оси датчика к вектору магнитной индукции в данный момент и данном месте.

Чувствительность измерителя составляет 0,1 нТл при соотношении сигнал/шум = 1 (в полосе частот 0-20 гц).

Датчик крепится на немагнитный теодолит так, чтобы ось его магнитной чувствительности максимально совпадала с оптической осью теодолита. Устанавливая датчик перпендикулярно направлению магнитного поля можно определить направление магнитного меридиана, а также угол наклона магнитной индукции в данном месте.

В данном случае феррозондовый датчик выполняет только функцию нуль-индикатора для определения вектора направления магнитного поля.

В Институте ведется постоянная работа по модернизации прибора и перевод его на современную элементную базу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Афанасьев Ю.В. Феррозондовые приборы. Энергоатомиздат, 1986 г.

© Н. Н. Семаков, А. Ф. Павлов, С. А. Казанцев, 2026