

УДК 550.380.87

ТРЕХКОМПОНЕНТНЫЙ ИНДУКЦИОННЫЙ МАГНИТОМЕТР (КОНСТРУКЦИЯ, ОБСЛУЖИВАНИЕ, КАЛИБРОВКА)

Щекотов А.Ю.¹, Беляев Г.Г.², Кобзев В.А.³

¹Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, *oldresident@yandex.ru*

²Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН,
г. Москва, Троицк, *belyaev@izmiran.ru*

³Камчатский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», г. Петропавловск-
Камчатский, *geofizik@emsd.ru*

Описание магнитометра

Трех-компонентный индукционный магнитометр был разработан и изготовлен в ИЗМИРАН и установлен на создаваемой обсерватории Карымшина в 1999 г. в рамках проекта МНТЦ. Задачей проекта МНТЦ были комплексные исследования явлений, связанных с сейсмичностью, поиск и изучение предвестников землетрясений и анализ возможности их применения для сейсмического прогноза. Датчики магнитометра представлены на рис. 1. Процесс установки датчика для регистрации Z-компоненты магнитного поля показан на рис.2.



Рис.1 Датчики трех-компонентного индукционного магнитометра.



Рис. 2. Установка вертикального датчика магнитометра.

Магнитометр состоит из трех идентичных датчиков Н, D и Z компонент магнитного поля и блока коммутации (БК) с разъемами для подключения датчиков, кабеля питания и сигнального кабеля, идущего на вход системы сбора данных. В блоке также находится стабилизатор питания датчиков с напряжениями ± 12 В. Блок-схема магнитометра показана на рис. 3.

Также на рис. 3 показаны функциональные схемы датчиков, которые включают в себя индукционную катушку (ИК), катушку обратной связи (КОС) и калибровочную катушку (КК). Все они расположены на многослойном стержне из аморфного железа с высокой магнитной проницаемостью.

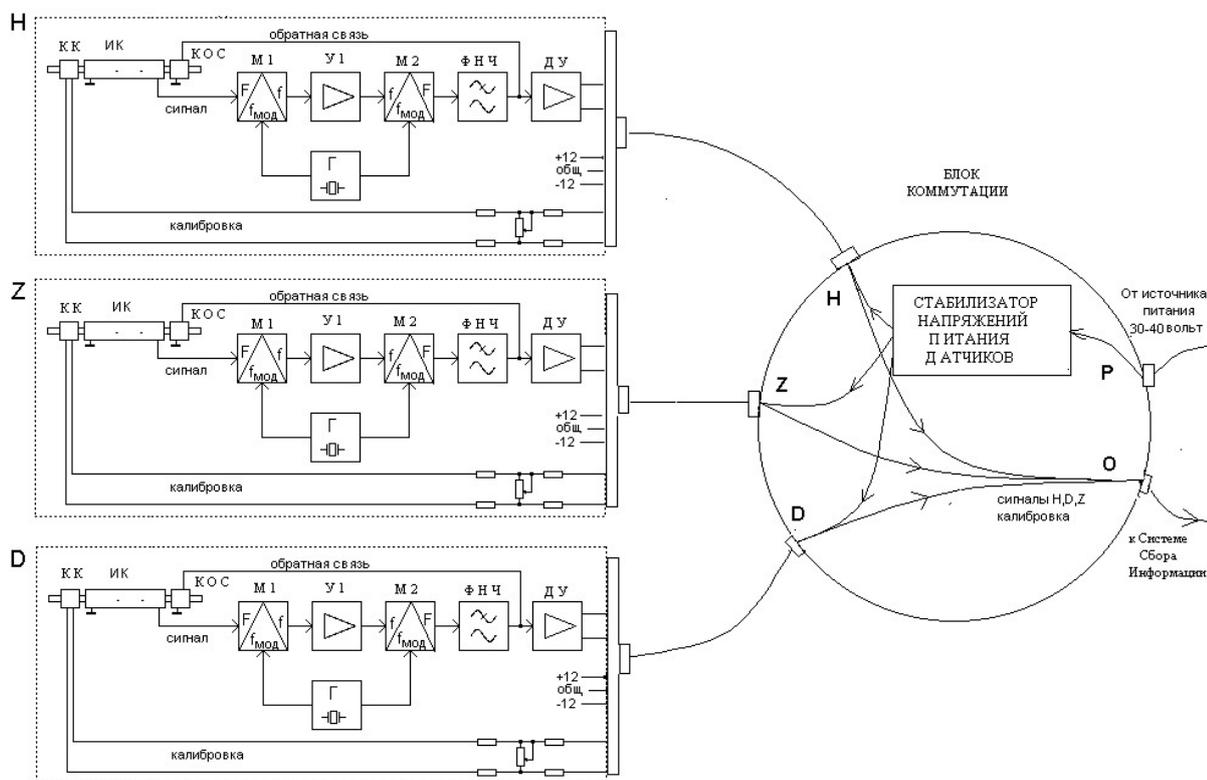


Рис.3. Блок-схема магнитометра

Сигнал с ИК поступает на модулятор М1, который переносит спектр сигнала на частоты в окрестности 1 КГц. Далее, сигнал усиливается в У1 и поступает на модулятор М2, который возвращает сигнал на исходные частоты после пропускания через фильтр нижних частот ФНЧ. Модуляторы управляются общим генератором (Г). На выходе датчика находится усилитель с дифференциальным выходом (ДУ), с которого после БК сигнал поступает по витой паре на систему сбора.

Такую схему обычно называют МДМ усилителем. Она характеризуется равномерным шумом в широкой полосе частот, что обеспечивает высокую чувствительность датчиков на низких частотах (<10 Гц). Передача дифференциального сигнала с выхода датчиков по витой паре способствует высокой помехоустойчивости – низким внешним наводкам на длинный кабель. Цепь обратной связи стабилизирует функцию передачи датчиков, а цепь внутренней калибровки позволяет оценивать уровни регистрируемых сигналов, а также проверять работоспособность датчиков. Далее приведены их характеристики (таблица 1).

На рис. 4 показаны фаза и модуль функции преобразования датчиков, а также их чувствительность (уровень собственных шумов, приведенных к магнитному полю) в зависимости от частоты.

Внешняя калибровка включает в себя: генератор, токозадающий резистор R, соленоид (внутри которого, примерно соосно, помещается исследуемый датчик) и анализатор спектра. Коэффициент преобразования калибровочной цепи зависит от плотности намотки соленоида и резистора R, а так же смещения датчика относительно оси соленоида и его краев. Схема внешней калибровки приведена на рис. 5.

Таблица 1. Характеристики датчиков.

| | | |
|----|--|-------------------------|
| 1 | Диапазон, Гц | 0.0025-40 |
| 2 | Коэффициент преобразования G : на частотах <4 Гц, В/(нТ·Гц) на частотах >4 Гц, В/(нТ·Гц) | 0.4 1.6 |
| 3 | Температурный дрейф G , %/град | <0.05 |
| 4 | Чувствительность Впор лучше, $nT/\sqrt{Гц}$: на частоте 0.01 Гц на частоте 0.1 Гц на частоте 1.0 Гц на частоте >10 Гц | 20 20 0.2 0.02 |
| 5 | Асимметрия дифференциальных выходов датчика, ($U_{вых}=\pm 1В$), % | <1 |
| 6 | Смещение нуля на выходе датчика, мВ | <10 (20°) |
| 7 | Дрейф смещения, мВ/°С | <1 |
| 8 | Коэффициент преобразования G_{cal} калибровочной цепи, нТ/В | 1.25 |
| 9 | Неидентичность ФЧХ датчиков на $F>4$ Гц, град | <2 |
| 10 | Неидентичность коэффициентов преобразования G датчиков, дБ | <1 |
| 11 | Выходное напряжение датчика, В ($R_{наз} = 10К, C_{наз} = 10нФ$) | ± 10 |
| 12 | Напряжения питания датчика, В | $\pm(10-15)$ |
| 13 | Потребляемый ток, мА ($U_{пит}=\pm 12,6В$) | <12 |
| 14 | Вес датчика, кг | <6 |
| 15 | Габариты датчика (диаметр-длина, мм) | 60-720 |
| 16 | Диапазон рабочих температур, °С | -30...+50 |

Важен именно шаг – плотность намотки. Намотка должна быть равномерной. Длина трубы соленоида в нашем случае равна ~ 1.7 м, а длина участка с обмоткой – 1.5 м. Диаметр основы соленоида в нашем случае выбирается 30 см. Шаг намотки – 1 см. Диаметр провода для намотки не имеет особого значения, вполне достаточно – 0.5-2.0 мм. Сопротивление 12.4 кОм указано с учетом выходного сопротивления генератора и активного сопротивления соленоида.

Поле в соленоиде равняется: $H = I \times \frac{N}{L}$ [А/м]. Здесь: $\frac{N}{L}$ – плотность намотки [витков/метр], I – ток в Амперах, N – кол-во витков, L – длина катушки в метрах.

Вычислим индукцию, поскольку она используется в оценке параметров датчика. Индукция $B = \mu_0 \times H$ [Тл], где: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} = 1.2566 \times 10^{-6}$, где μ_0 – магнитная постоянная, H – напряженность магнитного поля.

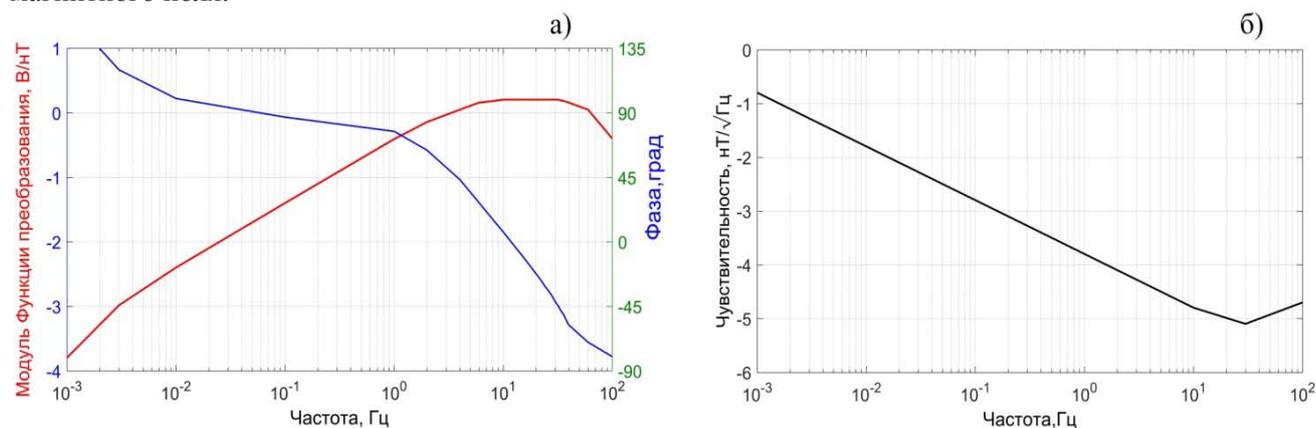


Рис. 4. Модуль функции преобразования и фаза (а) и чувствительность датчиков (б).

Ток в соленоиде равен отношению выходного напряжения генератора к сумме его выходного сопротивления, токозадающего резистора R и полного сопротивления соленоида. Полное сопротивление соленоида на низких частотах (<1 КГц) примерно равно его активному сопротивлению. Значение сопротивления R достаточно выбрать с точностью 1%.

Процедура внешней калибровки датчиков

Точность калибровки (оценки коэффициента преобразования датчика) зависит от соотношения сигнал/помеха, поэтому решающее значение имеет выбор места с минимальным уровнем помех. Как правило, это комната, где расположено минимальное количество электрических приборов. Далее, устанавливается и включается генератор и анализатор спектра, подключается тестер к выходу и затем, вращая соленоид с датчиком на столе, находим положение с минимальным уровнем сетевой помехи. После этого можно начинать калибровку.

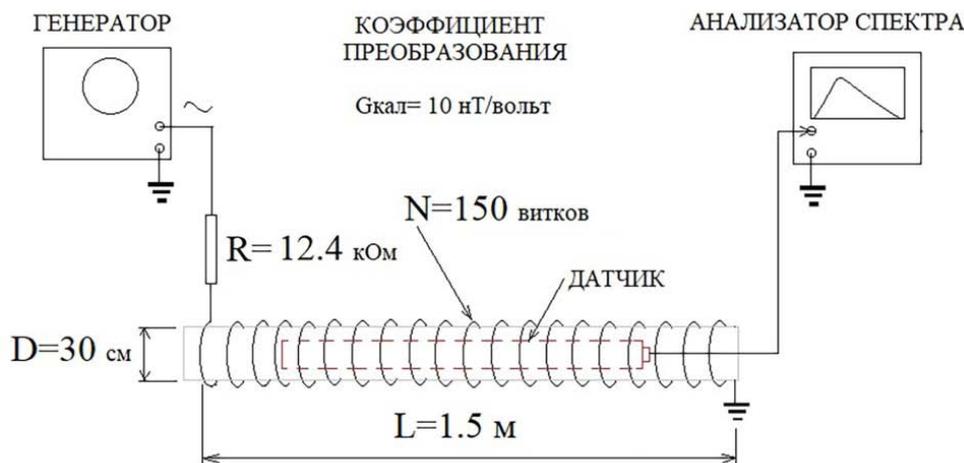


Рис. 5. Схема внешней калибровки.

Выставляем на генераторе частоту в пределах 10-20 Гц и напряжение 0.1 В, измеряем с помощью анализатора спектра напряжение на выходе датчика. Оно должно быть ~ 1.6 В. Это следует из того, что калибровочная схема при таком напряжении создает поле в соленоиде 1 нТ, а коэффициент преобразования датчика на частотах 4-30 Гц равен 1.6 В/нТ.

Далее можно использовать внутреннюю калибровку датчиков, после ее проверки с помощью внешней калибровки.

Вариант калибровочной установки описан в [1].

Обслуживание магнитометра

В общем случае, магнитометр в обслуживании не нуждается. Однако нужно постоянно контролировать:

- напряжение внешнего источника напряжения должно быть в пределах 30-40 В;
- герметичность разъемов и целостность кабелей;
- сохранность крышки бокса с датчиками.

С учетом 20-летней эксплуатации датчиков, необходимо заменить в них электролитические конденсаторы.

Заключение

Успех низкочастотных электромагнитных измерений зависит, в основном, от уровня помех в точке измерения. Поэтому, помимо обеспечения вышеперечисленных требований, важное значение имеет выбор места установки магнитометра.

Список литературы

1. Pulz E. A. Calibration facility for search coil magnetometers // Meas. Sci. Technol. 2002. № 13. P. 49–51.