

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ,
СОЗДАВАЕМОГО КОЛЬЦАМИ ГЕЛЬМГОЛЬЦА, ДЛЯ ПРОВЕРКИ МАГНИТОМЕТРОВ
ИНКЛИНОМЕТРОВ В СРЕДЕ COMSOL**

Торбогошев А. А.

Научный руководитель: Гормаков А. Н. доцент, к.т.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
Email: torbogoshhev@yandex.ru

**CHARACTER STUDY DISTRIBUTION OF THE MAGNETIC FIELD GENERATED
BY THE HELMHOLTZ RINGS FOR VERIFICATION MAGNETOMETER INCLINOMETER
IN COMSOL**

Torbogoshev A. A.

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD Gormakov A.A.
Tomsk Polytechnic University
Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050
Email: torbogoshhev@yandex.ru

Одним из чувствительных элементов забойного инклинометрического модуля является магнитометр. С целью обеспечения требуемой точности определения азимутального и апсидального углов скважинного прибора в каждой точке траектории скважины, блок магнитометров периодически подвергается калибровке.

Для проверки и калибровки магнитометров требуется однородное магнитное поле, сопоставимое с магнитным полем Земли. В данной статье рассмотрены различные варианты расположения колец Гельмгольца установки для проверки и калибровки магнитометров инклинометра. В результате моделирования магнитных полей систем колец Гельмгольца выявлены достоинства и недостатки каждой модели.

One of the sensitive elements of the bottom-hole inclinometer module is a magnetometer. In order to provide the required accuracy in determining the azimuth and apsidal angles of the downhole tool at each point of the well trajectory, the magnetometer block is periodically calibrated.

To check and calibrate the magnetometers requires a homogeneous magnetic field, comparable to the magnetic field of the Earth. In this paper, various variants of the location of the Helmholtz rings for testing and calibrating the inclinometer magnetometers are considered. As a result of modeling the magnetic fields of the Helmholtz ring systems, the advantages and disadvantages of each model are revealed.

Введение

При направленном бурении скважин используют чувствительные элементы: акселерометры и магнитометры. Для измерения угла наклона используется трёхосный акселерометр, который позволяет измерять проекции ускорения свободного падения на три взаимно перпендикулярные оси. Для измерения угла азимута используют трёхосный магнитометр, который позволяет измерять проекции напряженности магнитного поля на три взаимно перпендикулярные оси. На основе данных полученных с чувствительных элементов, после соответствующих вычислений, можно получить значение азимута и угла наклона в любой точке ствола скважины и его пространственную траекторию [1].

В процессе бурения скважин на месторождении возникает необходимость проверить работоспособность чувствительных элементов инклинометрических датчиков. Для осуществления проверки инклинометра требуется перевозка инклинометра с места буровых работ на базы технического обслуживания. Это ведёт к увеличению финансовых потерь. Для проверки магнитометров на месторождении создана специальная установка [2-4]. Такая установка может позволить в полевых условиях осуществить проверку магнитометров, т.е. соответствия действительных значений магнитометров инклинометра паспортным значениям.

Расчеты и моделирование магнитных полей колец Гельмгольца

Целью исследования является получение информации об однородности магнитного поля внутри колец Гельмгольца при различных расстояниях между ними.

В классических кольцах Гельмгольца расстояние между катушками должно быть равно радиусу катушки.

Диаметр провода катушек принимаем равным 0,45 мм. Сила тока составляет 0,3А.

Магнитная постоянная $\mu_0=4\pi\cdot 10^{-7}\text{НА}^{-2}=1,256\cdot 10^{-6}\text{НА}^{-2}$

Магнитное поле в центре между кольцами рассчитывается по формуле:

$$B_0 = \frac{16}{5\sqrt{5}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\mu_0 N I}{R} \quad (1)$$

Магнитное поле Земли значительно меняется во времени и пространстве. В зависимости от широты значение может меняться от 25 до 65 мкТл. На широте 50° магнитная индукция Земли в среднем составляет 50 мкТл.

Следует произвести расчет параметров для получения необходимого магнитного поля, создаваемогоми кольцами Гельмгольца. Сила тока, диаметр провода и магнитная постоянная не изменяются. Таким образом можно задать разное количество витков на кольце.

Используя формулу (1) определим число витков кольца при заданных значениях параметров.

$$B_0 = \frac{16}{5\sqrt{5}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1,256\cdot 10^{-6} \cdot N \cdot 0,3}{R} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ (Тл)}$$

Отсюда:

При R=50 мм, N=10.

Произведем анализ в среде Comsol с указанными данными.

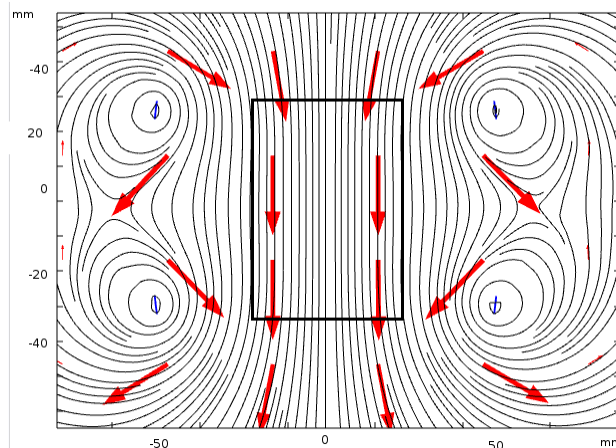


Рис. 1. Однородное магнитное поле при $R = L$

На рисунке получено распределение силовых линий однородного магнитного поля. Строго вертикальные линии между кольцами определяет ее однородность. В этой области и следует производить тестирование магнитометров. Значение плотности магнитного поля в области пространства между кольцами, ограниченного цилиндром диаметром 48 мм и длиной примерно 60 мм однородно и равно $5,11 \times 10^{-5}$ Тл.

С изменением расстояния между кольцами, заметны изменения силовых линий. От осевой линии системы колец в каждую сторону ближе к кольцам, плотность магнитного поля варьируется от $2,2$ до $2,43 \times 10^{-5}$ Тл. На рис. 2 (а) изображены силовые линии магнитного поля с изменением расстояния между кольцами в два раза.

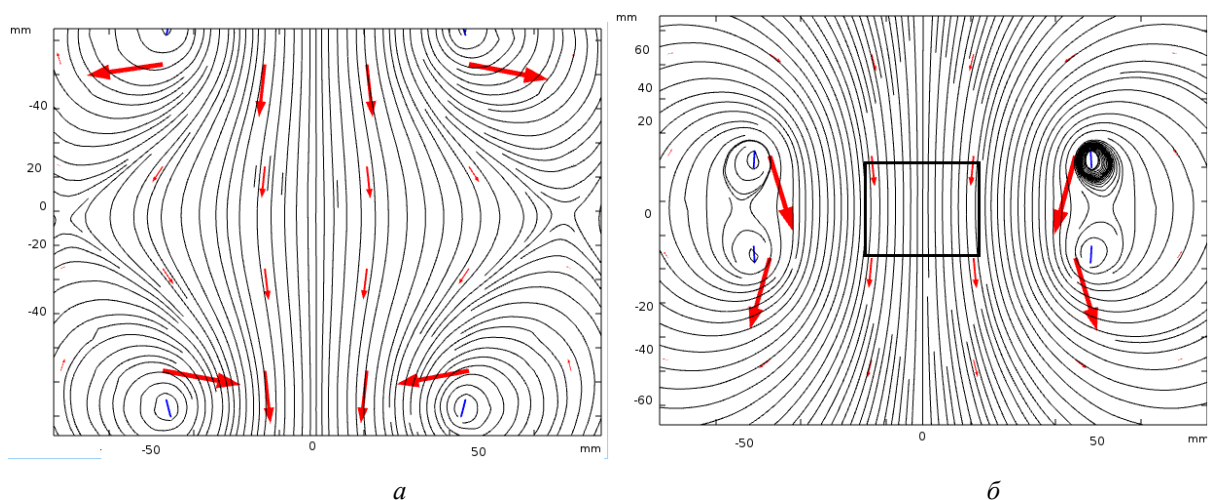


Рис. 2. Магнитное поле при $L=2R$ (а) и $L=R/2$ (б)

На рис. 2 (б) при сокращении расстояния между кольцами значение плотности магнитного потока составляет от 68 до 71 мкТл. Рамка показывает область, в которой изменение магнитного поля не превышает 3% от значения в центре колец.

Выбор того или иного расстояния между кольцами зависит от универсальности установки для проверки магнитометра. В установках для проверки и калибровки магнитометров инклинометров рекомендуется выдерживать расстояние между кольцами $L=R$. При выполнении этого условия мы получим максимальную однородность магнитного поля в максимальном объеме, необходимом для размещения калибруемых и проверяемых магнитометров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Забойная телеметрическая система СИБ-2. Эксплуатация, обслуживание и ремонт: учебное пособие в 2 кн. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2016 Кн. 1. – 174 с.
2. Gormakov A. N., Kharitonov M., Prygov A. Sensor module for testing magnetometric borehole inclinometers under field conditions [Electronic resource] // MATEC Web of Conferences. –2017. – Vol. 102: Space Engineering. – [01017, 4 p.]. (Электронный ресурс: <http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/201710201017> <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/37966>). Дата обращения 09.03.2018.
3. Гормаков А. Н., Ульянов И. А. Расчет и моделирование полей, создаваемых системой "кольца Гельмгольца – соленоид" [Электронный ресурс] Фундаментальные исследования. – 2015. – № 3. – [С. 40-45]. (Электронный ресурс: <http://www.rae.ru/fs/630-r37081>). Дата обращения 09.03.2018.
4. Зубенко А.А. Установка для проверки магнитометров инклинометров в условиях месторождения. (Электронный ресурс: <https://www.scienceforum.ru/2017/pdf/36565.pdf>). Дата обращения 09.03.2018.