

А. Г. КАЛАШНИКОВ

ИЗМЕНЕНИЕ ОСТАТОЧНОЙ ИНДУКЦИИ МАГНИТА В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 26 VIII 1948)

Естественно было предполагать, что остаточная индукция постоянного магнита B_r при помещении его в среду с проницаемостью μ будет изменяться, увеличиваясь при $\mu > 1$ и уменьшаясь при $\mu < 1$. Однако до сих пор, по нашим сведениям, это предположение не

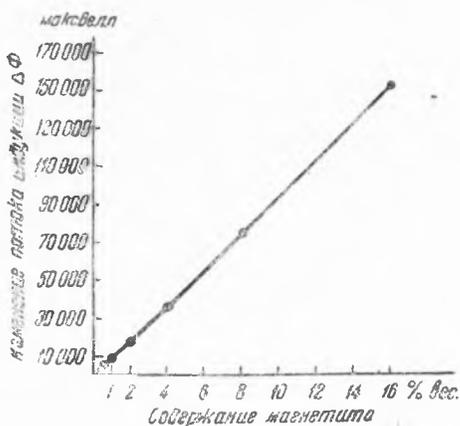


Рис. 1

подвергалось специальному исследованию ни экспериментально, ни теоретически. Между тем, изменение B_r постоянного магнита в зависимости от μ среды может иметь большое значение при использовании его в геофизических исследованиях.

Для обнаружения и изучения этого явления была применена следующая установка.

Магнит из магнито (80 × 8 × 8 мм) с обмоткой на нем в 2000 витков проволоки помещался внутрь эллипсоида, состоящего из нейтрального в магнитном отношении вещества с равномерно распределенным в нем порошком магнетита. В зависимости от количества магнетита в смеси можно было получать среды с различной восприимчивостью. Изменение потока индукции измерялось с помощью флюксметра, к которому присоединялись концы обмотки, расположенной на магните. Эллипсоид по плоскости, проходящей через большую ось, был разрезан на две части; в каждой из них имелось углубление для помещения магнита с обмоткой. Опыт заключался в следующем. Обе

части эллипсоида наполнялись смесью, содержащей определенный процент магнетитового порошка; затем магнит вкладывался в неподвижную часть эллипсоида и накрывался второй его частью. Таким образом, магнит полностью окружался средой с определенной восприимчивостью. При этом измерялось изменение потока остаточной индукции B_r , имевшего для нашего магнита в воздухе величину 4550 максвелл. Данные экспериментов представлены на рис. 1.

Элементарная теория этого явления следующая.

Когда магнит попадает в среду с восприимчивостью κ , поле магнита в окружающем его пространстве создает дополнительное поле индукции, равное $4\pi\kappa\bar{H}$, где \bar{H} есть средняя величина слагающей поля, направленной вдоль оси магнита. Это поле индукции в среде подмагничивает магнит и вызывает приращение остаточной индукции ΔB_r . Так как здесь идет речь о средах с проницаемостью, отличающейся от единицы не больше, чем на 0,01—0,02, то это поле составляет всего несколько гаусс и, следовательно, $\frac{\Delta B_r}{4\pi\kappa\bar{H}} = \mu_r$, где μ_r — обратимая

проницаемость (по внешнему полю). Поэтому $\Delta B_r = 4\pi\bar{H}\mu_r\kappa$; обозначая $4\pi\bar{H}\mu_r = C$, получаем $\Delta B_r = C\kappa$.

С другой стороны, мы можем рассчитать постоянную C , пользуясь закономерностями кривой размагничивания и приняв во внимание, что изменение размагничивающего фактора N в среде с проницаемостью μ равно

$$\Delta N = \frac{\mu - 1}{\mu} N \cong -4\pi\kappa N. \quad (1)$$

Обозначая h внутреннее поле магнита, I_r — остаточное намагничение, κ_r — обратимую восприимчивость, μ_r — обратимую проницаемость (по внутреннему полю), имеем из кривой размагничивания:

$$\Delta I_r = \kappa_r \Delta h, \quad (2)$$

$$\Delta h = \frac{\Delta B_r}{\mu_r}, \quad (3)$$

$$h = H_c - NI_r,$$

откуда

$$\Delta h = NI_r - (N + \Delta N)(I_r + \Delta I_r). \quad (4)$$

Подставим в (4) выражения (1), (2), (3); вспомним, что $4\pi\kappa$ составляет для горных пород не больше 0,01—0,02 CGS μ ; в результате получим:

$$\Delta B_r = \frac{4\pi NI_r \mu_r}{1 + N\kappa_r} \kappa = C\kappa, \quad (5)$$

где

$$C = \frac{4\pi NI_r \mu_r}{1 + N\kappa_r}.$$

Расчет κ по формуле (5) сходится с определением κ на крутильных весах с точностью до 5⁰/₁₀.

Пусть площадь поперечного сечения магнита s , число витков в обмотке на нем n . Тогда среднее изменение потока индукции будет

$$\Delta\Phi = \Delta B_r sn = Csn\kappa.$$

Обозначая $Csn = K$, имеем

$$\Delta\Phi = K\kappa. \quad (6)$$

Равенство (6) показывает, что изменение потока индукции магнита пропорционально восприимчивости среды, что полностью подтверждается нашими экспериментами. Зная K для данного магнита, можно по изменению потока индукции определить χ среды. Если магнит с обмоткой на нем опускать в определенный объем, заполненный измельченной горной породой или любым сыпучим веществом, то, измеряя при этом изменение потока индукции, определим χ вещества.

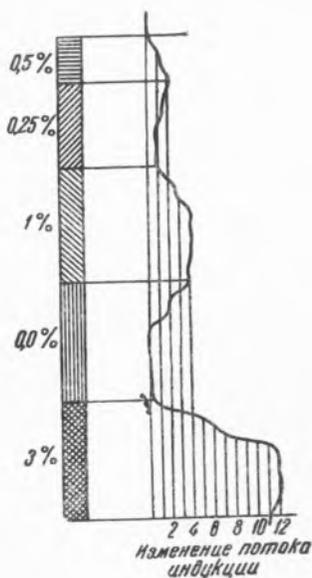


Рис. 2. Запись изменения индукции магнита, производившаяся в течение 180 сек. на модели скважины, составленной из слоев, содержащих указанный слева процент магнетита

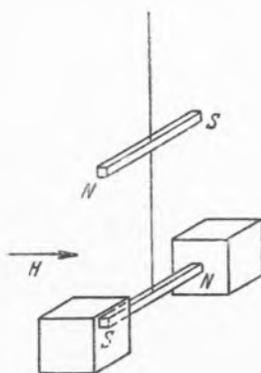


Рис. 3. Принцип аstaticического магнетометра

Магнит в 15 см длиной и 2 см диаметром дает возможность различать $\chi = 1 \cdot 10^{-5}$ CGS μ .

Это же явление можно использовать и для магнитного кароттажа скважин. Магнит с обмоткой, соединенной с самопишущим флюксметром, опускается в буровую скважину. Изменение индукции магнита в зависимости от восприимчивости породы фиксируется самописцем; при этом отмечаются малейшие изменения в магнитных свойствах пород. На рис. 2 показана подобная запись, сделанная на модели скважины, состоящей из слоев, имеющих различные восприимчивости. В данном случае разность отклонений для двух близлежащих слоев пропорциональна разности восприимчивостей этих слоев.

Оказывается также, что если слои обладают остаточным намагничением I_r и его вектор образует угол α с осью магнита, то с помощью этого несложного прибора можно обнаружить и величину проекции вектора I_r на ось магнита. Для этого надо сначала перемещать магнит в скважине вниз или вверх одним полюсом, а затем другим. Сравнение двух записей дает возможность обнаружить $I_r \cos \alpha$.

Для того чтобы получить изменение индукции магнита, необязательно полностью его погружать в среду; достаточно приблизить к нему определенные куски вещества. Наши эксперименты показывают, что особенно сильное изменение индукции получается при приближении определенных объемов вещества к концам магнита. Это дает возможность построить магнетометр с аstaticической системой (рис. 3)

для полевого определения χ . Если из породы вырезать куски в форме куба с ребром ≈ 1 см и поместить эти кубики у концов нижнего магнита системы, то изменится магнитный момент этого магнита; следовательно, система отклонится на определенный угол, который будет пропорционален χ породы. Эксперименты, проведенные в этом направлении, показывают, что на этом принципе можно построить прибор, представляющий собой своеобразное обращение крутильных магнитных весов.

Геофизический институт
Академии Наук СССР

Поступило
23 VIII 1948