

2517/2-74

2517/2-74

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С.ЗУЧ.1р
Т-19

P3 - 7785

Ю.В.Таран

2517/2-74

СПОСОБ ОСЛАБЛЕНИЯ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

1974

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

РЗ - 7785

Ю.В.Таран

СПОСОБ ОСЛАБЛЕНИЯ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Таран Ю.В.

РЗ - 7785

Способ ослабления геомагнитного поля

Описан способ ослабления геомагнитного поля (ГМП) с помощью однослойного цилиндрического экрана из магнитомягкого материала, намагниченного таким образом, что рассеянное магнитное поле компенсирует внутри экрана прошедшее и ослабленное ГМП.

Экспериментально получено усиление экранирующей способности по сравнению с ненамагниченными экранами в 30 + 150 раз в зависимости от способа создания намагниченности. Описаны два способа - токовый и термический - получения нужной намагниченности экрана.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1974

Taran Yu.V.

РЗ - 7785

The Method of Attenuation of the Geomagnetic Field

The description is given of the method to attenuate the geomagnetic field (GMF) using a single-layer cylindrical screen of soft-magnetic material magnetized in such a way that the scattered magnetic field compensates, inside the screen, the penetrated and diminished GMF. The screening efficiency is increased experimentally, as compared with that of nonmagnetized screen, by 30-150 times depending on the method of magnetization. Two ways are described - current and thermal ones - for obtaining the desired screen magnetization.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1974

1. Введение

Известен и широко применяется способ ослабления геомагнитного поля /ГМП/ с помощью магнитных экранов из материалов, обладающих высокой магнитной проницаемостью. В частном случае, при использовании однослойного цилиндрического экрана, ось которого ориентирована перпендикулярно вектору ГМП \vec{H}_3 , напряженность прошедшего внутрь экрана магнитного поля равна $|H_i| = H_3/\chi$, где коэффициент экранирования χ дается следующим выражением /см., например, /1/ /:

$$\chi = \frac{(\mu+1)^2}{4\mu} \left[1 - \frac{(\mu-1)^2}{(\mu+1)^2} \frac{r_1^2}{r_2^2} \right], \quad /1/$$

здесь μ - магнитная проницаемость материала экрана, r_1 и r_2 - внутренний и внешний радиусы цилиндра, соответственно /длина цилиндра считается бесконечной/. Для тонкого цилиндра толщиной t с $\mu \gg 1$ ур. /1/ упрощается:

$$\chi \approx \frac{\mu t}{2r}. \quad /2/$$

С помощью экранов небольшого диаметра из промышленного пермаллоя можно получать довольно высокий коэффициент экранирования ГМП. Например, для $\mu = 30000$, $t = 1$ мм /пермаллой марки 80НХС или 79НМ/, $r = 5$ см коэффициент экранирования равен 300. При больших r , порядка десятков сантиметров и метров, χ становится относительно малым. В этом случае создают многослойные магнитные экраны или сложные

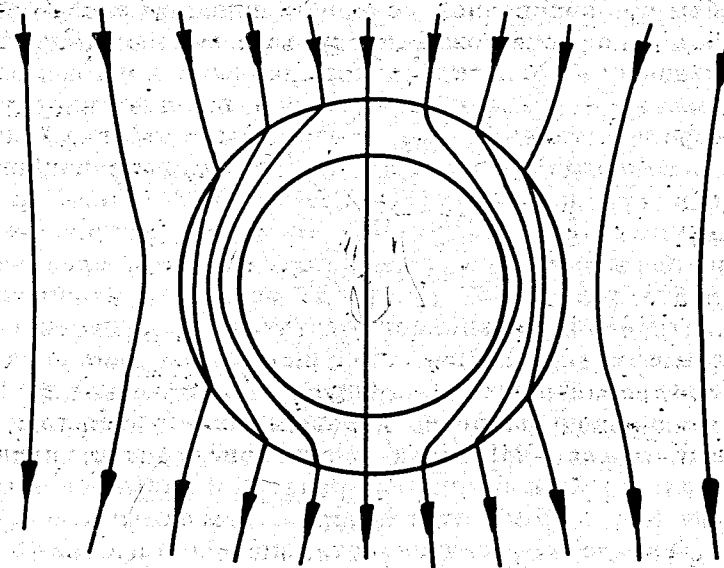
системы проводников тока. В случае необходимости получения высокой степени ослабления ГМП /в 10^3-10^4 и более раз/ этот путь неизбежен и оправдан. Для получения же умеренного ослабления /в диапазоне $100 \div 1000$ раз/ эти способы кажутся достаточно сложными. Действительно, для изготовления многослойного экрана требуются дорогие и дефицитные марки пермаллоя; неизбежным является отжиг при высокой температуре /более 1000°C / в вакууме или атмосфере водорода. Готовый экран требует осторожного обращения, так как величина магнитной проницаемости сильно зависит от механических нагрузок и деформаций. Способ компенсации ГМП с помощью проводников тока требует относительно сложных механических работ по изготовлению и юстировке системы проводников, наличия довольно стабильных источников тока и т.д.

В данной работе предлагается простой и доступный способ получения умеренных коэффициентов экранирования ГМП, дается его физическое обоснование и экспериментальная проверка.

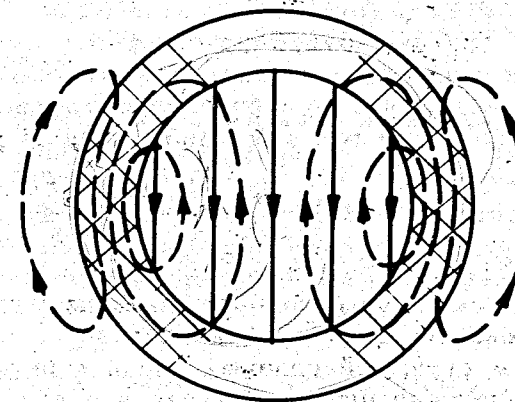
2. ПРИНЦИП СПОСОБА

На рис. 1а приведено схематическое изображение потока силовых линий ГМП в окрестности и внутри немагнитного однослойного экрана цилиндрической формы бесконечной длины. Внутри цилиндра магнитное поле однородно и по направлению совпадает с невозмущенным ГМП. Если теперь каким-либо образом намагнитить цилиндр так, чтобы распределение намагнитченности по окружности слоя приблизительно совпадало с распределением сгущений силовых линий и было противоположно по направлению, то рассеянное поле, создаваемое этой же намагнитченностью, внутри экрана компенсирует прошедшее поле /рис. 1б/.

Получить такое распределение намагнитченности можно двумя способами. Первый из них заключается в наложении на магнитный экран затухающего переменного магнитного поля, направленного по касательной к экрану



а



б

Рис. 1. Цилиндр из магнитного материала в геомагнитном поле: а - цилиндр немагнитен; б - цилиндр намагнитчен, намагнитченные области заштрихованы.

в любом его поперечном сечении /цилиндрическое поле/. Создать такое поле можно, пропуская по проводнику, расположенному на оси экрана, переменный ток промышленной частоты, амплитуда которого вначале растет до некоторого значения J_{max} , а затем падает до нуля. Вокруг проводника создается круговое /цилиндрическое/ магнитное поле $H_T = 2J/r$, где r - расстояние до оси проводника. Если $H_T^{max} \gg H_3$, то домены материала цилиндра при его перемагничивании этим током практически следят только за H_T . Когда сила тока уменьшится и станет $H_T \ll H_3$ возникнет остаточная намагниченность, обусловленная ГМП, значительно большая, чем если намагниченный цилиндр просто поместить в поле H_3 . Причем цилиндр наиболее сильно намагнитится там, где силовые линии ГМП идут вдоль поверхности цилиндра и сгущаются максимальным образом, и наименее намагнитится там, где они идут поперек. Тем самым создается распределение намагниченности, подобное изображенному на рис. 16.

Второй термический способ создания такой намагниченности заключается в охлаждении экрана в ГМП, предварительно нагретого выше точки Кюри. При своем формировании домены будут ориентироваться по ГМП и в остывшем цилиндре возникнет остаточная намагниченность. Очевидно, что ее распределение по окружности цилиндра будет таким же, как изображено на рис. 16.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Аппаратура

На рис. 2 схематически изображен измерительный стенд. Проверка первого /токового/ способа создания намагниченности проводилась на экранах, сваренных ЭДС из проката стали-3 толщиной 2 мм. Измеренное μ сварного цилиндра равно около 200. Измерения были сделаны на трех цилиндрах длиной 1 м и радиусом 10, 14 и 20 см /на рис. 2 показан цилиндр ϕ 280 мм/.

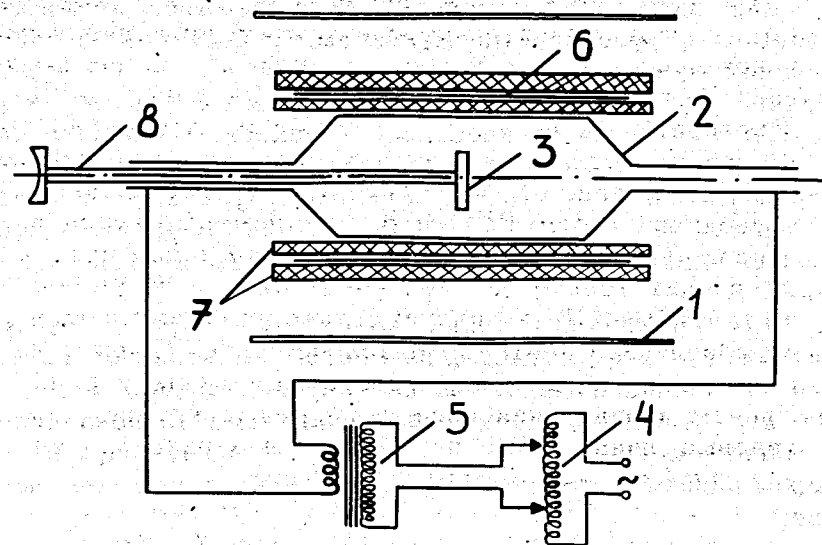


Рис. 2. Схематическое изображение измерительного стенда: 1 - стальной экран ϕ 280 мм; 2 - токовый проводник; 3 - датчик магнитометра; 4 - регулятор напряжения; 5 - трансформатор на 1500А; 6 - экран из специального сплава; 7 - тепловая защита; 8 - штанга для перемещения датчика.

Проводник 2 для пропускания переменного тока внутри экрана выполнен в виде полой трубы с внутренним диаметром 160 мм и длиной 350 мм с целью расположения в ней датчика магнитометра 3. Регулировка силы тока производилась с помощью автотрансформатора 4, включенного в первичную цепь силового трансформатора 5.

Проверка термического способа производилась на экране 6, сваренном из проката специального сплава с довольно низкой точкой Кюри / $\sim 150^\circ\text{C}$ /, толщиной 0,5 мм и отожженного в вакууме при 1150°C в стандартном режиме /отжиг преследовал другие цели и для данной работы не обязателен/. Диаметр цилиндра 200 мм, длина 500 мм. Измеренное μ равно 13000. На цилиндр был установлен электронагреватель из нихромовой проволоки. Экран вместе с нагревателем окружался тепловой защитой 7.

Для магнитных измерений использовался промышленный феррозондовый магнитометр СКГ-58М с паспортной чувствительностью $16,7 \gamma / мВ / 1 \gamma = 10^{-5} \text{ Э/}$. Датчик магнитометра с чувствительным объемом $70 \times 2,4 \times 1,5 \text{ мм}^3$ крепился к механизму ориентации и перемещения 8, так что ось датчика всегда была перпендикулярна оси экрана. Магнитометр измеряет поле в диапазоне $-50000 \div +50000 \gamma$, при этом выходной сигнал электронного блока СКГ-58М изменяется от -3 до $+3 \text{ В}$.

При вращении датчика вокруг оси экрана /центр датчика при этом остается на месте/ в однородном поле, его показания изменяются по синусоидальному закону. На рис. 3 кривая 1 показывает зависимость показаний H магнитометра от угла θ между осью датчика и вектором невозмущенного ГМП \vec{H}_3 в лабораторном помещении.

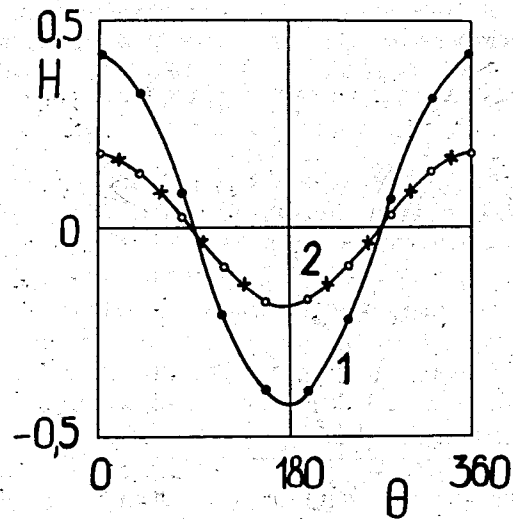


Рис. 3. Зависимость показаний магнитометра H /э/ от угла θ /град/ между осью датчика и вектором ГМП: 1 - невозмущенное ГМП; 2 - поле внутри стального немагнитного цилиндра ϕ 200 мм.

Токовый способ

Перед измерениями стальной экран предварительно размагничивался. Для этого сверху исследуемого экрана надевалось еще два дополнительных экрана, и по проводнику пропускался переменный ток, амплитуда которого сначала увеличивалась до $300 \div 350 \text{ А}$, а затем уменьшалась до нуля. Качество размагничивания характеризуется кривой 2 на рис. 3, на которой экспериментальные точки в виде кружков получены при некотором произвольном положении цилиндра, а крестики после поворота цилиндра

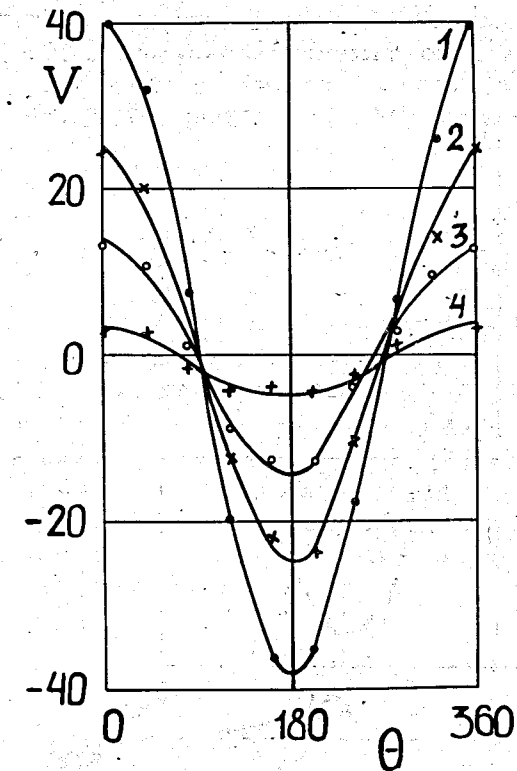


Рис. 4. Зависимость выходного сигнала магнитометра V /мв/ от угла θ /град/ после воздействия переменного тока силой J : 1 - $J = 226 \text{ А}$; 2 - 272 А ; 3 - 317 А ; 4 - 354 А . Датчик установлен в центре стального цилиндра ϕ 200 мм.

на 180° вокруг его оси /дополнительные экраны были убраны/. Сравнивая кривые 1 и 2, получим коэффициент экранирования немагнитного стального цилиндра $\chi \approx 2,2$ что согласуется с расчетом по ур. /2/.

Кривые 1-4 на рис. 4 получены после пропускания по проводнику переменного тока различной силы. Уменьшение поля внутри экрана вызвано компенсацией ослабленного в 2 раза ГМП с помощью рассеянного поля намагниченного цилиндра. При достаточно большой силе тока можно получить даже перекомпенсацию.

Зависимость остаточного поля H_i внутри цилиндра от силы тока J приведена на рис. 5. При повороте цилиндра вокруг своей оси на 180° поле внутри него

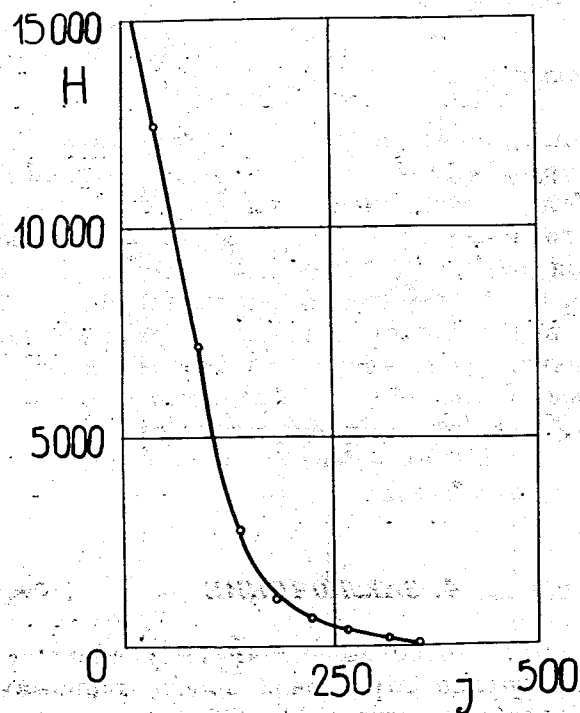


Рис. 5. Зависимость остаточного поля $H(\gamma)$ внутри стального цилиндра ϕ 200 мм от силы переменного тока J /А/.

возрастало до значения, близкого к величине ГМП. В этом случае рассеянное и прошедшее поля не вычитаются, а складываются.

Измерения поля вдоль оси экрана в диапазоне ± 100 мм от его центра показали, что оно растет не более, чем в 2 раза. Отсюда можно определить, что эффективный коэффициент экранирования по объему пространства длиной 200 мм и диаметром ≈ 100 мм /диаметр цилиндра 200 мм/ равен ≈ 350 , что более чем на два порядка превышает экранирующую способность немагнитного цилиндра.

На цилиндрах большего диаметра в том же объеме удавалось получать эффективный коэффициент экранирования 500 ÷ 600.

Термический способ

Типичная зависимость показаний магнитометра от температуры экрана из специального сплава с низкой точкой Кюри показана на рис. 6. При нагреве экрана до достаточно высокой температуры в конечном итоге получается перекомпенсация, как показано, например, на рис. 6. Коэффициент экранирования немагнитного цилиндра в данном случае равен ≈ 30 . После нагрева и охлаждения экрана в присутствии ГМП его эффективная экранирующая способность увеличилась в 30 раз. По-видимому, подбором максимальной температуры нагрева и режима охлаждения может быть получен более высокий коэффициент ослабления.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный способ получения умеренного ослабления ГМП /в несколько сотен раз/ прост, экономичен и доступен. Способ особенно эффективен для экранирования больших объемов, когда не лимитированы размеры экрана. Вместе с тем он имеет ряд ограничений. Наиболее существенными из них являются следующие. Способ применим для невозмущенного во времени ГМП. При из-

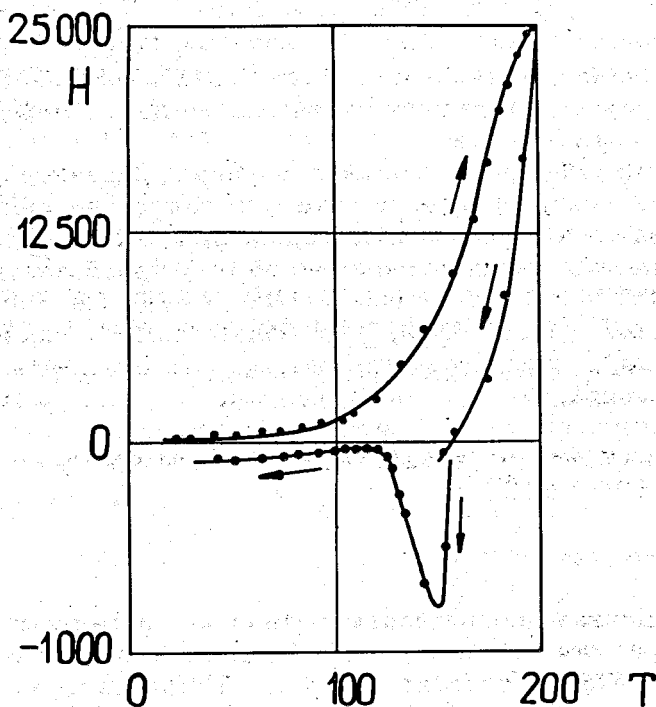


Рис. 6. Зависимость показаний магнитометра $H(\gamma)$ внутри экрана из специального сплава от температуры экрана $T(^{\circ}C)$.

менении магнитной обстановки /монтаж металлического оборудования и т.п./ процедура подбора намагниченности экрана должна быть сделана вновь. После выполнения такой процедуры положение экрана не должно изменяться. При неконтролируемом перемещении экрана в другое место расположения процедура должна быть повторена.

Автор благодарит А.А.Шиканяна за участие в первоначальном этапе этой работы и Ж.А.Козлова за содействие. в

Литература

1. Д.А.Стрэптон. Теория магнетизма, ОГИЗ, М.-Л., 1948.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 марта 1974 года.