

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



9221

ЭКЗ ЦИТ ЗАЛА
P13 - 9221

Н.А.Алексеев, Б.И.Воронов, В.И.Константинов,
Ю.В.Таран

ПЯТИСЛОЙНЫЙ ФЕРРОМАГНИТНЫЙ ЭКРАН
ОБЪЕМОМ $1,5 \text{ м}^3$

1. Конструкция

1975

P13 - 9221

Н.А.Алексеев, Б.И.Воронов, В.И.Константинов,
Ю.В.Таран

ПЯТИСЛОЙНЫЙ ФЕРРОМАГНИТНЫЙ ЭКРАН
ОБЪЕМОМ 1,5 м³

1. Конструкция

1. Введение

В работе^{1/} сообщалось о проекте многослойного цилиндрического ферромагнитного экрана с внутренним объемом $\approx 1,5 \text{ м}^3$ установки "Тристом", предназначенной для измерения электрического дипольного момента нейтрона с помощью ультрахолодных нейтронов. В настоящее время экран изготовлен и испытан. В центре экрана получено остаточное магнитное поле $3 \div 3,5 \gamma^*$. Стабильность его по измерениям более месяца находилась в пределах $\pm 0,5 \gamma$. Помимо применения в установке "Тристом", экран может быть также использован для калибровки магнитометрической аппаратуры различного назначения без его разборки, так как по оси экрана с обоих торцов имеются входные отверстия диаметром 152 мм.

В настоящей работе /часть I/ описывается конструкция экрана, некоторые специфические вопросы технологии его изготовления и устройство для размагничивания. В части II будут сообщены результаты магнитных измерений с помощью феррозондового /чувствительность $\approx 0,2 \gamma$ / и оптического квантового /чувствительность $\approx 10^{-3}$ / магнитометров.

2. Конструкция экрана

Экран, изображенный на *рис. 1*, состоит из пяти пермалловых цилиндров, установленных соосно в несущем

* $1 \gamma = 10^{-5} \text{ Э}$.

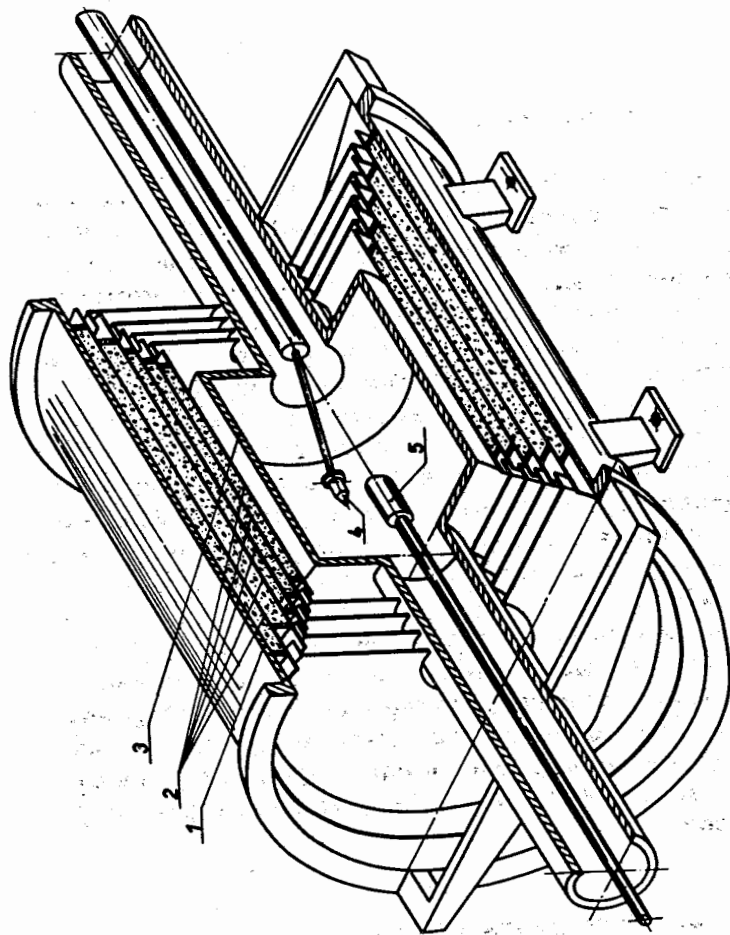


Рис. 1. Магнитный экран Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ: 1 - несущий корпус; 2 - пермаллоевые обечайки; 3 - жокорпровод; 4 - феррозондовый магнитометр; 5 - оптический квартовый магнитометр.

щем корпусе из алюминиево-магниевого сплава АМЦ. Диаметр /первая цифра/ и длина /вторая, цифра, мм/ цилиндров следующие: 1/ 936, 2040; 2/ 1048, 2080; 3/ 1160, 2120; 4/ 1272, 2160; 5/ 1384, 2180. Расстояние между слоями - 56 мм. Первые четыре слоя, считая от оси экрана, имеют пермаллоевые торцевые крышки. Расстояние между крышками 25 мм. У каждой крышки есть короткая /125 мм/ цилиндрическая часть, позволяющая надеть крышку на соответствующий слой.

Каждый слой лежит на последующем: так, например, пятый слой воспринимает вес предыдущих четырех. Известно, однако, что начальная магнитная проницаемость μ_0 магнитомягких материалов сильно зависит от механических напряжений. По данным ЦНИИЧМ ^{/2/}, поперечное сжимающее напряжение порядка $\sigma \approx 0,075 \text{ кг.мм}^{-2}$ снижает μ_0 пермаллоя марки 79НМ на $60 \div 70\%$. Другие виды напряжений снижают μ_0 еще больше. Анализ напряжений, возникающих в свободном цилиндре, проведенный по схеме кольца, имеющего опору в одной точке, показал, что изгибные напряжения могут достигать 3 кг.мм^{-2} . Такие напряжения вызовут в экране сильное и неравномерное изменение μ_0 . Для того чтобы избежать ухудшения магнитных свойств пермаллоя, была разработана такая конструкция крепления слоев, которая позволила равномерно распределить напряжения по поперечному сечению слоя. Она состоит из пенопластовых колец и латунных шпилек, с помощью которых был спрессован засыпанный между слоями вспененный гранулированный полистирол. Для лучшего сжатия наполнителя по всей длине экрана конструкция была сделана трехсекционной /рис. 2/. Таким образом, изгибные напряжения практически устраняются в описанной конструкции. Оценим возможные средние напряжения поперечного сжатия по аналогии с расчетом подшипников скольжения:

$$\sigma_n = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} P_i}{D_n \cdot L_n}$$

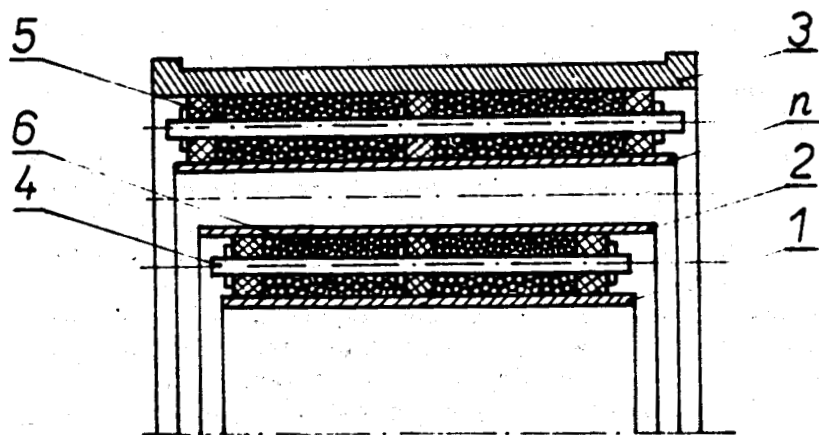


Рис. 2. Схематическое изображение конструкции крепления слоев экрана: 1, 2, ..., n - слои экрана, 3 - несущий корпус, 4 - шпильки, 5 - пенопластовые кольца, 6 - вспененный полистирол.

где D_n и L_n - диаметр и длина n-слоя экрана, P_i - вес i-слоя. В самом неблагоприятном случае ($n=5$) получаем $\bar{\sigma} \approx 10^{-4} \text{ кг.мм}^{-2}$, что пренебрежимо. Если даже предположить, что в нижней точке слоя напряжения будут в 5-10 раз больше средних, то и в этом случае они практически не влияют на μ_0 .

В центре крышек имеются отверстия диаметром 200 мм для высоковольтного ввода в вакуумную камеру установки "Тристом" с одного торца экрана и нейтронвода УХН с другого торца. Для размагничивания экрана по его оси был установлен токопровод из АМЦ /см. рис. 1/, имитировавший вакуумную камеру с нейтронводом и кожухом высоковольтного ввода в натуральную величину. Крышки на каждом торце экрана были собраны в блоки, которые могут с помощью простейшего механизма перемещаться по токопроводу в пределах 125 мм так, что крышки могут быть полностью сняты или надеты на слои экрана. Токопровод имеет входные отверстия диаметром 152 мм для ввода чувствительных элементов /ЧЭ/ магнитометров.

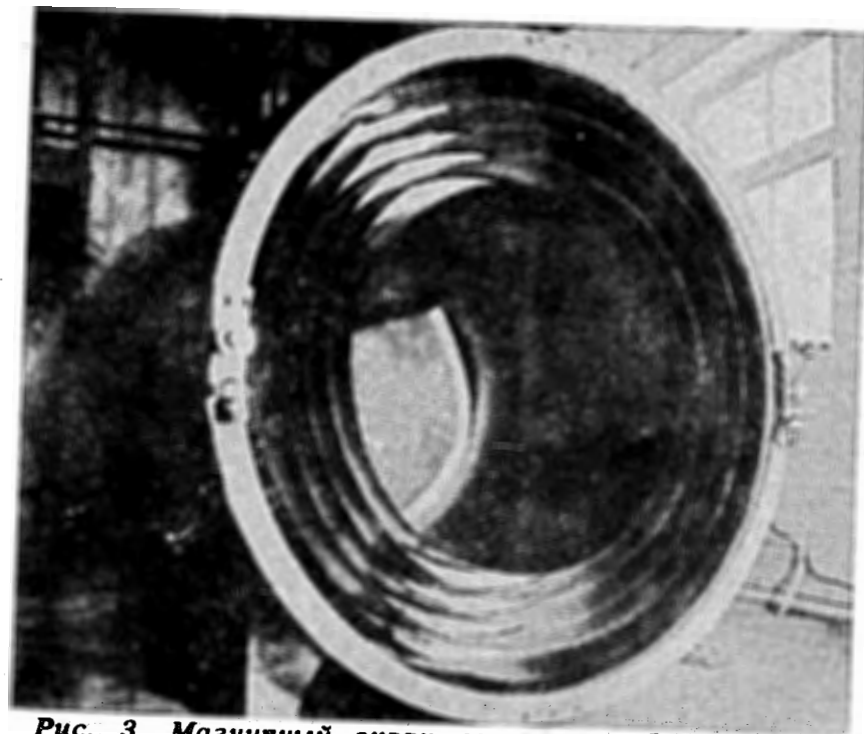


Рис. 3. Магнитный экран со снятым блоком крышек.

На рис. 3 экран показан без крышек и токопровода, а на рис. 4 - в полностью собранном виде.

3. Технология изготовления экрана

Для изготовления экрана был использован листовой пермаллой 79НМУ^{2/с} размерами 1600 x 600 x 1 мм³. По данным баллистических испытаний в замкнутой цепи пермаллой имел начальную магнитную проницаемость $\mu_0 = 49000$ после отжига в вакууме по следующему режиму: выдержка при температуре 1100°C в течение 3 час., охлаждение со скоростью 100°C.час⁻¹ до 600°C и далее с выключенной печью. Цилиндры и крышки экрана

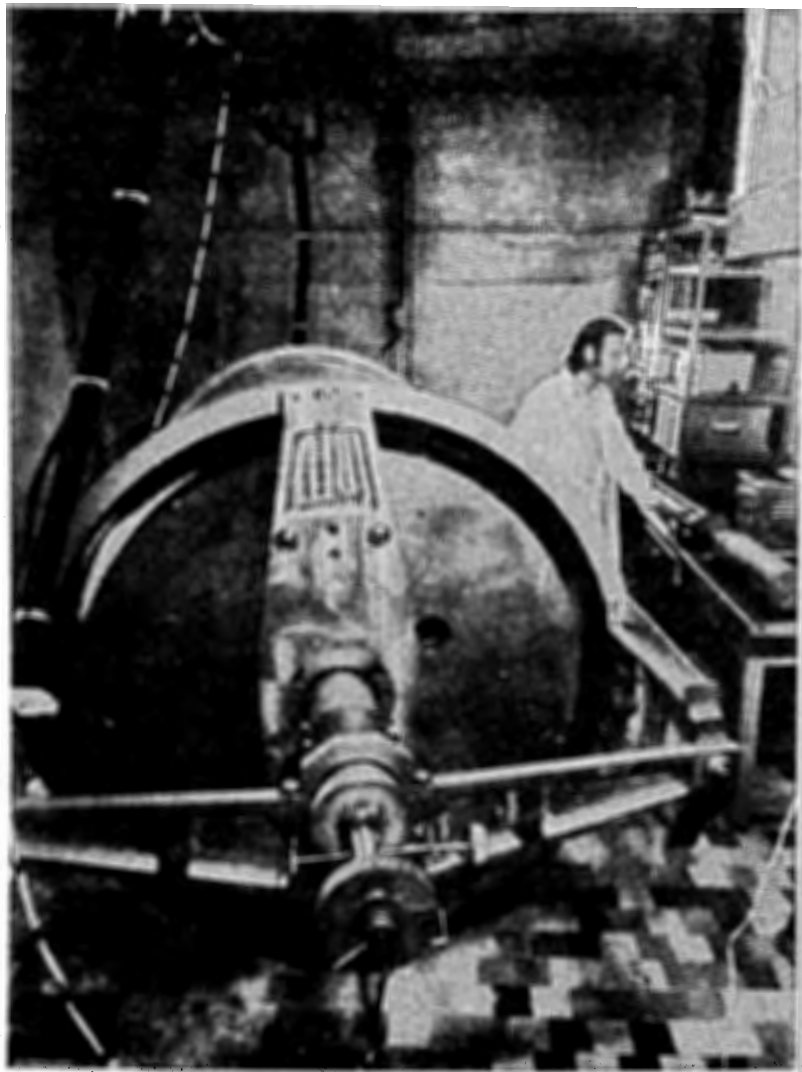


Рис. 4. Магнитный экран в собранном виде.

были сварены из листов встык с помощью аргоно-дуговой сварки. Отжиг производился на Новолипецком металлургическом комбинате в водородной печи по следующему режиму: скорость нагрева, начиная с 400°C , была равна $56^{\circ}\text{C}\cdot\text{час}^{-1}$, выдержка при $1140\pm 1150^{\circ}\text{C}$ в течение ≈ 13 час, охлаждение со скоростью $27^{\circ}\text{C}\cdot\text{час}^{-1}$ до 600°C , затем вместе с выключенной печью. Цилиндры были установлены вертикально в приспособлении для отжига, фиксирувавшем низ цилиндров по окружности с точностью 2 мм и верх в четырех точках. Такой вариант фиксации верха оказался неудачным, так как во время отжига произошла заметная деформация верхней части цилиндров /отклонение от окружности достигало 30 - 35 мм/. Одновременно отжигался резервный цилиндр для "нулевого" слоя, фиксация верха которого не производилась; при этом отклонение от окружности лежало в пределах $2\div 3$ мм. Для исправления цилиндров была проведена вальцовка с помощью резиновых роликов*. Крышки отжигались в двухэтажном приспособлении. На одном этаже располагались друг на друге крышки для одного из торцов экрана. Так как основания этажей были сделаны недостаточно толстыми, то они деформировались во время отжига, что привело к деформации крышек /отклонение торцов крышек от плоскости достигает $5\div 7$ мм, отклонение цилиндрической части крышек от окружности достигало $10\div 15$ мм/. Исправление торцевых частей крышек не производилось, чтобы избежать нагартовки, а цилиндрические части были исправлены аналогично цилиндрам, причем одновременно края крышек были развальцованы на длине 20 мм под углом 30° /края цилиндров были, наоборот, немного загнуты внутрь/.

Для транспортировки отожженного экрана было изготовлено специальное приспособление, позволившее значительно уменьшить воздействие тряски автомобиля на пермаллоевые детали. В этом же приспособлении с добавлением несущего корпуса /деталь 1 на рис. 1/ произведена сборка цилиндров /момент сборки показан на

* Вальцовке подвергалась полоса шириной ≈ 250 мм.

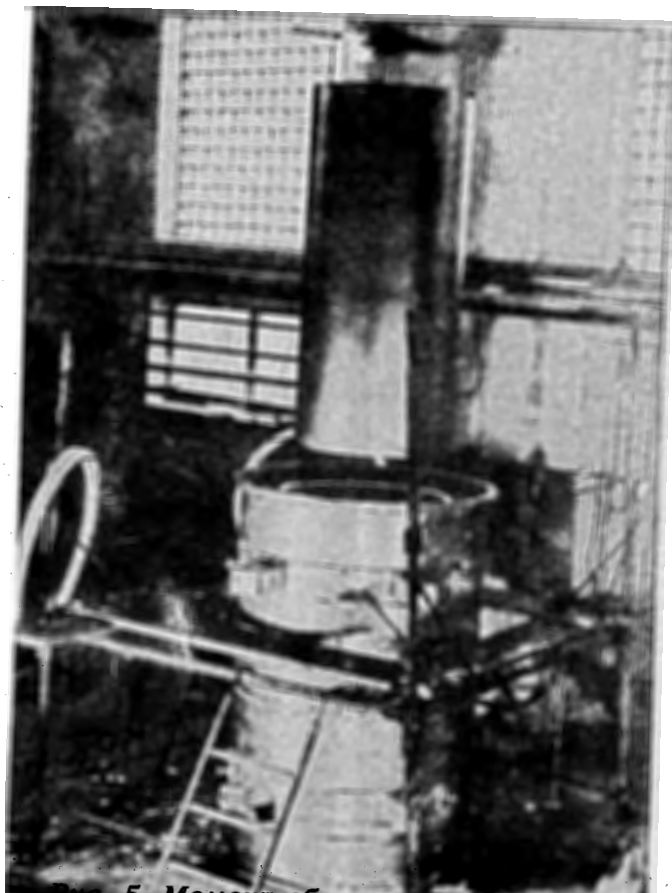


Рис. 5. Момент сборки магнитного экрана.

рис. 5/. Затем экран был переведен в горизонтальное положение. Во время этой операции и потом в течение месяца контролировалось положение цилиндров относительно корпуса. Суммарное смещение цилиндров по сравнению с вертикальным положением сборки не превысило 1 мм. Экран был установлен в лабораторном помещении

таким образом, что среднеквадратичное значение компоненты геомагнитного поля вдоль оси было минимально*.

4. Устройство для размагничивания

В центре изготовленного и отожженного, но не размагниченного экрана остаточное магнитное поле равнялось $\approx 60 \gamma$ **. Остаточное поле было значительно уменьшено методом циркулярного размагничивания^{/1,3/}. Блок-схема устройства для размагничивания представлена на рис. 6, а фотография токопровода, вставляемого в экран, - на рис. 7. Устройство позволяет пропускать по оси экрана переменный ток до 1 кА промышленной частоты, при этом амплитуда переменного магнитного поля на радиусе пятого цилиндра равна 3 Э. Однако после первого размагничивания для получения минимального остаточного поля требуются значительно меньшие токи, поэтому в устройстве имеются тонкая и грубая регулировки тока с помощью реостата и автотрансформатора, соответственно. Последние оборудованы электроприводами с редукторами. Скорость изменения тока может регулироваться с помощью смены шестерен в редукторе.

5. Предварительные результаты магнитных измерений

После подбора режима размагничивания и его оптимизации*** удавалось получить остаточное поле в центре

* Геомагнитное поле в этом помещении довольно сильно искажено. В однородном поле экран можно установить строго перпендикулярно вектору поля.

** Отжиг экрана производился в присутствии геомагнитного поля, которое намагнитило экран при охлаждении ниже точки Кюри.

*** Подробнее на этом мы остановимся в части II настоящей работы.

экрана до $1,5\gamma$. Однако после намеренного намагничивания экрана* воспроизведение такого поля получалось лишь после многократных попыток. Остаточное поле $2,5\div 3\gamma$ воспроизводилось с достаточно хорошей стабильностью.

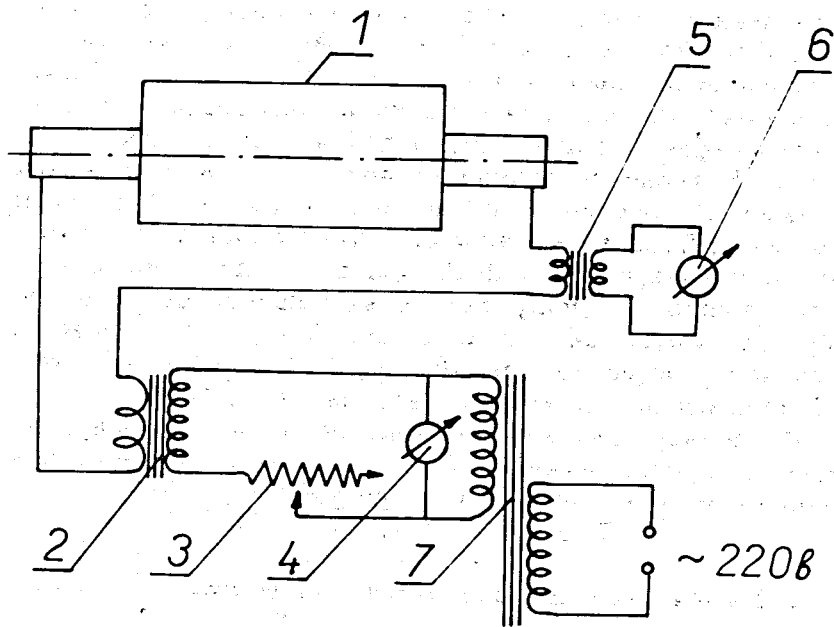


Рис. 6. Блок-схема устройства для токового размагничивания экрана: 1 - токопровод; 2 - силовой трансформатор, тип ОСУ - 40/0,5 - А; 3 - реостат 1 кОм, 5 А; 4 - вольтметр, 5 - трансформатор тока; 6 - амперметр; 7 - регулятор напряжения, тип РОТ-25/05, 25 кВА, с механическим перемещением первичной обмотки по ярму.

* Для этого при некотором токе цепь системы размагничивания разрывалась и возникающие экстратоки размыкания намагничивали экран.

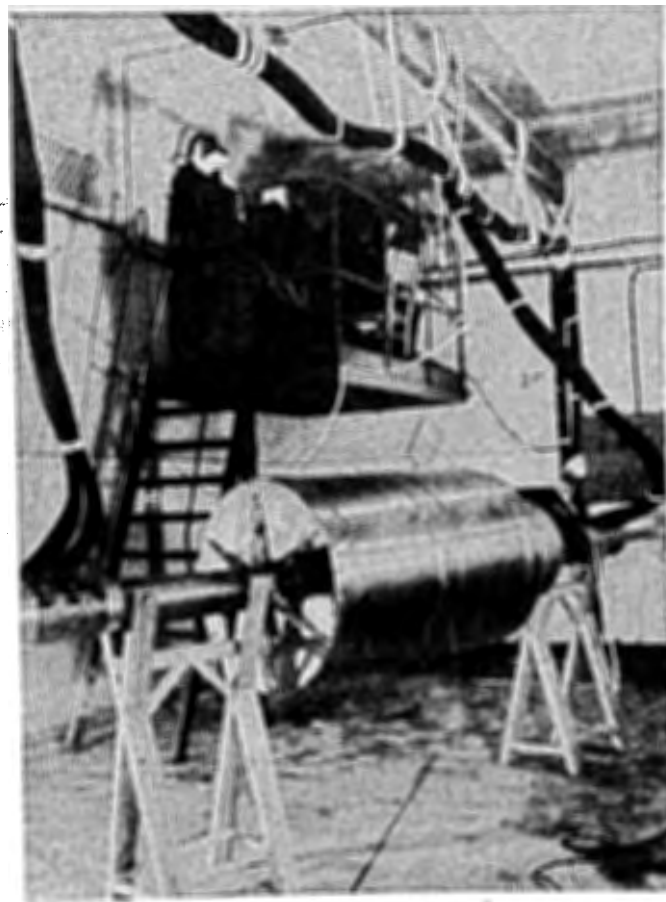


Рис. 7. Токопровод для размагничивания магнитного экрана.

Оценим возможный коэффициент экранирования k геомагнитного поля данным экраном / k определяется как отношение внешнего магнитного поля к проникшему внутрь экрана/. Магнитная проницаемость пермалловых деталей в экране неизвестна. По литературным данным, отжиг в атмосфере водорода дает величину μ_0 в 1,5-2 раза большую, чем отжиг в вакууме. Считая,

что правка пермаллоевых деталей ухудшила μ_0 не более чем в 2 раза*, получим из формулы для $\kappa^{1/5}$:

$$\kappa \approx \left(\frac{\mu_0 t}{2}\right)^5 \prod_{i=1}^5 \frac{R_i^2 - (R_{i-1} + t)^2}{R_i^3},$$

что $\kappa \approx 1,5 \cdot 10^5$ /здесь t - толщина слоя, R_i - радиус i -слоя, $R_0 = t$ /. Напряженность геомагнитного поля в месте расположения экрана равна $\approx 45000 \gamma$. Таким образом, проникшее внутрь экрана геомагнитное поле на порядок меньше, чем магнитное поле в экране, вызываемое остаточной намагниченностью экрана, неустраняемой с помощью токового размагничивания.

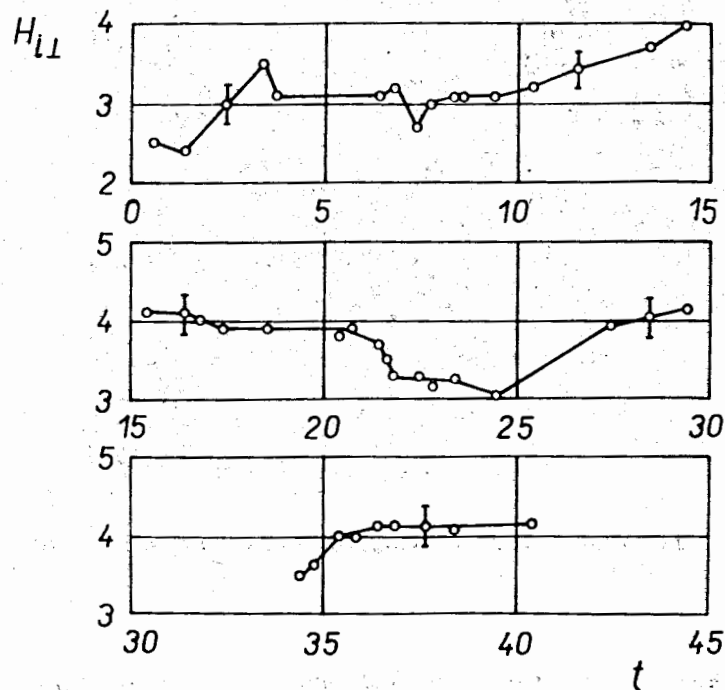


Рис. 8. Временная зависимость поперечной компоненты H_{\perp} /в гаммах/ остаточного магнитного поля в экране. Стартовое значение $H_{\perp} = 2,5 \gamma$ получено сразу после токового размагничивания. Время t в сужках.

* Напомним, что центральные части цилиндров не подвергались правке.

Измерения поперечной компоненты остаточного поля H_{\perp} * на оси экрана в пределах ± 35 см от его геометрического центра показали, что минимум поля не совпадает с центром экрана и смещен на 10 см. Зависимость H_{\perp} от осевой координаты относительно минимума сильно асимметрична.

Измерения стабильности H_{\perp} в центре экрана, проведенные в течение 40 дней, показали, что H_{\perp} дрейфует в пределах $3-4 \gamma$ /рис. 8/.

В заключение авторы пользуются случаем, чтобы поблагодарить А.И.Андросова, Н.А.Мацуева, В.М.Крылова, А.И.Селезнева, В.Б.Дучица и Ю.В.Никитенко за помощь и содействие в работе.

Литература

1. Ю.В.Таран. Сообщение ОИЯИ, РЗ-7377, Дубна, 1973.
2. Материалы в машиностроении, т. 3, изд. "Машиностроение", М., 1968.
3. Л.С.Овчаренко. Геофизическая аппаратура, вып. 56, 126, изд. "Недра", Л., 1974.

* Рукопись поступила в издательский отдел
13 октября 1975 года.

* Продольная компонента H_{\parallel} на оси экрана лежит в пределах $1-1,5 \gamma$ и может быть уменьшена более тщательной ориентацией экрана в геомагнитном поле.