

537.622.4

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АМПЛИТУДЫ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ  
НА КОЭФФИЦИЕНТ ЭКРАНИРОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ  
ГИРОСКОПИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ**

**Власова М.А.** (Университет ИТМО, АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»»),

**Шевченко А.Н.** (АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»)

**Научный руководитель – к.т.н. Безмен Г.В.**

(АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»)

**Введение.** С 60-х годов XX века наблюдается повышенный интерес к разработке гироскопов, не содержащих подвижных частей [1]. К ним относятся такие квантовые датчики, как волоконно-оптические и ядерные магнитные гироскопы. Ключевые компоненты таких приборов чувствительны к внешним воздействиям, например, к магнитному полю, что негативно сказывается на их точности. Для защиты чувствительных элементов гироскопов от воздействия внешних магнитных полей обычно применяют экраны из материалов с высокой магнитной проницаемостью. Однако их коэффициент экранирования зависит от амплитуды изменения магнитного поля. Возникает необходимость корректного описания экранирующего эффекта магнитного поля для создания математических моделей для прогноза и коррекции дрейфов квантовых датчиков, вызванных внешними полями. В работе описана физически обоснованная модель зависимости коэффициента экранирования экрана интерферометра волоконно-оптического гироскопа от амплитуды постоянного магнитного поля, в котором происходит его поворот из-за вращения привода автокомпенсации или носителя, на котором он установлен.

Предлагаемая модель позволяет определять магнитные поля в объёме многослойного экрана по внешним полям и может быть использована для исследования вопроса модернизации системы экранирования ключевых компонентов гироскопических приборов, имеющих требования к немагнитности окружающей их обстановки.

**Экспериментальное исследование.** Коэффициент экранирования магнитного экрана определяется отношением изменения внешнего магнитного поля к изменению поля в полости экрана [2] и зависит от величины магнитной проницаемости материала. Однако для малых амплитуд проницаемость постоянна, а изменение коэффициента экранирования обусловлено наличием гистерезиса [3], сущность которого состоит в том, что значение поля внутри экрана неоднозначно определяется величиной внешнего магнитного поля и зависит от истории его изменения. Величина гистерезиса, оцениваемая в процентах, характеризуется отношением его максимальной ширины к удвоенной амплитуде индукции поля внутри экрана.

Для исследования зависимости коэффициента экранирования от амплитуды внешнего магнитного поля был использован трёхслойный магнитный экран интерферометра волоконно-оптического гироскопа, изготовленный из пермаллоя 79НМ [4]. В геометрическом центре экрана установлен феррозондовый магнитометр для измерения напряжённости магнитного поля в его объёме. Внешнее поле создавалось соленоидом, размещённым в технологическом экране, защищающем исследуемый экран от магнитного поля Земли.

В рамках эксперимента проведено исследование коэффициента экранирования при амплитудах внешнего магнитного поля в диапазоне от 0 до 320 мкТл. При увеличении амплитуды внешнего магнитного поля наблюдался нелинейный рост внутреннего поля и коэффициента экранирования, а величина гистерезиса экспоненциально стремилась к 50 %.

Зависимость коэффициента экранирования от амплитуды изменения напряжённости внешнего поля может быть аппроксимирована двумя линейными участками с различными коэффициентами линейной аппроксимации. В диапазоне внешних полей 0-120 мкТл коэффициент аппроксимации больше, чем в диапазоне 120-320 мкТл. Также замечено, что

при увеличении амплитуды изменения внешнего поля от 0 до 120 мкТл величина гистерезиса увеличивается от 0 до 45 %, а при дальнейшем увеличении до 320 мкТл величина гистерезиса возрастает до 48 %, то есть всего на 3 %. Таким образом, можно сделать предположение, что различие в скорости возрастания коэффициента экранирования на двух участках связано с изменением величины гистерезиса.

**Выводы.** В работе описана зависимость изменения коэффициента экранирования от амплитуды постоянного внешнего магнитного поля экрана интерферометра волоконно-оптического гироскопа. Экспериментально выявлено, что его коэффициент экранирования может быть описан двумя характерными линейными участками. На первом участке (с меньшими амплитудами изменения внешнего поля) коэффициент экранирования изменяется быстрее, чем на втором, при этом на первом участке наблюдается значительный рост величины гистерезиса, а на втором величина гистерезиса практически не изменяется и экспоненциально стремится к своему предельному значению 50 %. Для исследуемого экрана значение поля, при котором происходит переход от первого участка ко второму составляет 120 мкТл. Ожидается, что для многослойных экранов похожей конструкции, включая экраны ядерного магнитного гироскопа, график коэффициента экранирования будет иметь аналогичный характер, но амплитуда внешнего магнитного поля, при которой изменяется крутизна линейной аппроксимации, может быть другой.

#### **Список использованных источников:**

1. Пешехонов В. Г. Перспективы гироскопии. XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019, 2019. С. 36-38.
2. Sumner T. J., Pendlebury J. M., Smith K. F. Convective magnetic shielding. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 1987. Т. 20. №. 9. С. 1095.
3. Moric I. et al. Magnetic shielding of the cold atom space clock PHARAO. *Acta Astronautica*, 2014. Т. 102. С. 287-294.
4. Климова Е. Н., Шевченко А. Н. Исследование возможности использования аморфного железа в качестве магнитного экрана ВОГ. Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО, 2022. С. 49-52.