

ОТЗЫВ

официального оппонента

о диссертации Белякова Дениса Игоревича на тему

«Разработка и исследование методик и средств измерений для расширения диапазона и функций Государственного первичного эталона ГЭТ12-2011 при передаче единиц магнитной индукции постоянного поля и магнитного потока вторичным и рабочим эталонам»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 - Приборы и методы измерения по видам измерений (измерения электрических и магнитных величин)

1. Актуальность темы

Создание и усовершенствование современной эталонной базы Российской Федерации является одним из приоритетных направлений работ метрологических организаций.

В области метрологического обеспечения магнитных измерений актуальной на сегодняшний день является проблема перекрытия области средних (1 - 25 мТл) и сильных (25 - 2000 мТл) постоянных магнитных полей. В СССР существовал первичный эталон магнитной индукции постоянных полей в диапазоне 25 - 2000 мТл (Харьковский НИИ Метрологии); в Российской Федерации проблема первичного эталона в диапазоне 1 - 1000 мТл в настоящее время не решена. При этом, если техника воспроизведения и передачи единиц в области сильных полей известна (использование высокооднородных электромагнитов и прецизионных ЯМР-тесламетров), то вопрос передачи единицы магнитной индукции из области геомагнитных полей в область сильных полей с необходимой точностью до настоящего времени не был решен.

Метрологическое обеспечение в области гипогомагнитных полей актуально для областей космических исследований, навигации и медицины, что находит отражение в ряде зарубежных публикаций. Так, в государственном метрологическом институте РТВ (Германия) разработан и создан дорогостоящий комплекс немагнитных комнат в комплексе с мерами магнитной индукции и прецизионными магнитометрами; аналогичный комплексы созданы и создаются и в других странах, что позволяет, в частности, эффективно совершенствовать методы нейродиагностики мозга человека.



В области измерений параметров магнитных материалов особую остроту приобретает вопрос об обновлении методической базы измерений в Российской Федерации. Созданные в СССР в 80-е годы методики измерений опираются на устаревшее оборудование и не обеспечивают необходимую точность; поэтому необходимо создание референтных методик для разных групп материалов, что потребует создания прецизионного измерительного оборудования, получающего единицу от государственного первичного эталона.

Таким, образом, тематика диссертационной работы Белякова Д.И., посвященная расширению диапазона Государственного первичного эталона единиц магнитных величин ГЭТ 12 в область «гипогеомагнитных» и «средних» полей, а также созданию эталонного подкомплекса для прецизионных измерений параметров магнитных материалов, является своевременной и важной.

Её актуальность подтверждается также практической востребованностью: создание метрологического оборудования выполнено в рамках научно-исследовательской темы под шифром «Магнит» (2015 - 2016 г.г.) и опытно-конструкторской работы под шифром «Градиент» (2017 - 2019 г.г.).

2. Научная новизна и достоверность основных положений диссертации

Научная новизна работы состоит в следующем:

- предложен и запатентован способ воспроизведения магнитной индукции постоянного поля в диапазоне 10 - 1000 нТл, проведены исследования неопределенности воспроизведения;

- предложена процедура воспроизведения магнитной индукции постоянного поля в диапазоне 1 - 25 мТл, проведено построение бюджета неопределенности калибровки воспроизведения;

- разработана методика калибровки и определены коэффициенты преобразования квантового цезиевого магнитометра на разрешенной структуре атомов цезия используемого для передачи единицы магнитной индукции в область «средних» полей

- разработан, создан и исследован эталонный подкомплекс для прецизионного измерений параметров магнитных материалов. Построен бюджет неопределенности измерений параметров петли гистерезиса и основной кривой намагничивания стандартных тороидальных образцов.

Достоверность и обоснованность основных положений, выводов и результатов диссертации подтверждается:

- полнотой и системностью проведенных исследований оценки неопределенности воспроизведения созданных эталонных подкомплексов;

- успешным прохождением межведомственных государственных испытаний Государственного первичного эталона единиц магнитных величин ГЭТ 12, модернизированного на базе описанных в диссертации исследований;

- апробацией работы на научно-технических конференциях и семинарах, публикациями и внедрением результатов работы.

3. Научная и практическая ценность

Научная значимость диссертационной работы заключается в расширении диапазона и функциональных возможностей Государственного первичного эталона ГЭТ 12. В частности, решена проблема метрологического обеспечения магнитной индукции постоянного поля в диапазоне 1 - 25 мТл.

Практическая ценность работы состоит в:

- создании подкомплексов ГПЭ, позволяющих воспроизводить магнитную индукцию постоянного поля в диапазонах $1 \cdot 10^{-8}$ - $1 \cdot 10^{-6}$ Тл и 1 - 25 мТл;

- разработке методик калибровки магнитометров постоянного магнитного поля в диапазоне от $1 \cdot 10^{-8}$ до $1 \cdot 10^{-6}$ Тл и квантового цезиевого магнитометра в диапазоне от 1 до 25 мТл;

- разработке программного обеспечения «Программа воспроизведения магнитной индукции постоянного поля гипогомагнитного диапазона на базе ГЭТ12-2011», предназначенной для воспроизведения магнитной индукции в диапазоне $1 \cdot 10^{-8}$ - $1 \cdot 10^{-6}$ Тл и «Magnetic Material Calculation Software (MMCS)», предназначенной для автоматической обработки результатов измерений параметров магнитных материалов с использованием созданного комплекса;

- создании эталонного подкомплекса ГПЭ, позволяющего проводить прецизионные измерения параметров магнитных материалов, что в дальнейшем даст возможность разработать специализированные референтные методики.

4. Общая оценка диссертации

В работе решена востребованная, своевременная и важная проблема: для Государственного первичного эталона единиц магнитных величин ГЭТ 12 расширен диапазон воспроизведения единицы магнитной индукции постоянного поля; также расширен функционал в части прецизионных измерений параметров магнитных материалов.

Диссертация логично структурирована, сопровождается многочисленными результатами экспериментальных исследований, современными метрологическими оценками качества измерений разработанных подкомплексов, в том числе в виде разработанных методик измерений, и достаточно широко иллюстрирована.

Представлены материалы по внедрению результатов исследования и 12 публикациям автора (в том числе, 4 из перечня рецензируемых журналов ВАК).

Автореферат диссертации весьма полно отражает основные этапы исследования, результаты и выводы работы.

Таким образом, можно утверждать, что Беляковым Д.И. выполнено большое, цельное научно-техническое исследование в области метрологии, свидетельствующее о его высокой разносторонней квалификации. Высокий экспериментальный, в том числе компьютерный, уровень выполнения работы гарантирует надежность и достоверность полученных результатов. Автором получен большой объем новых данных, сделан ряд интересных заключений о возможности создания новых и развитии существующих систем метрологического обеспечения в области слабых и сильных магнитных полей. Это позволяет констатировать, что работа выполнена на актуальную тему, а полученные соискателем степени многочисленные результаты имеют как научное, так практическое значение. Многие экспериментальные и теоретические данные могут быть использованы другими исследователями, работающими в подобных направлениях, как справочный материал.

5. Замечания по работе

1. В работе используется всего один точностной параметр – «неопределенность», или «погрешность», что, видимо, соответствует требованиям ГОСТ; однако этот подход не позволяет учесть связь между погрешностью измерения и временем, за которое это измерение проводится. Именно поэтому в физической литературе, посвященной метрологическим устройствам, принято разделять кратковременную (вариационную) чувствительность, долговременные дрейфы и абсолютную точность; еще более полное описание точностных характеристик конкретного устройства во всем диапазоне возможных времен измерения дается посредством диаграммы Аллана. Соответственно, с методологической точки зрения было бы правильно оговорить связь исследуемых в работе «неопределенностей» с вышеперечисленными физическими характеристиками.

2. Не очень понятно, какие именно параметры «магнитометров, работающих в «гипогеомагнитном» и геомагнитном диапазонах» приведены на рисунке 1.1. Так, максимальная вариационная чувствительность существующих оптических магнитометров

достигает единиц фТл в полосе 1 Гц, тогда как их абсолютная точность ограничена снизу десятками пикотесла; на графике же приведен нижний предел 1 пТл. Что же касается датчиков СКВИД, то при максимальной чувствительности в доли фТл в полосе 1 Гц им вообще не свойственна абсолютность.

3. В разделе «Исследования неопределенности измерений при передаче единицы магнитной индукции в «гипогеомагнитном» диапазоне», по моему мнению, не хватает практических рекомендаций. Так, из таблицы 2.1 однозначно следует, что неопределенность, вносимая параметром «Нестабильность $BZ0$ (градиент вариаций и статизм)» существенно превышает все остальные неопределенности, но автор не приводит никаких выводов, следующих из этого факта.

4. Стр.58: «Как было обнаружено в предварительных экспериментах коэффициенты при четных порядках не обнуляются». Из этого следует, что либо измеряемая частота резонанса смещена относительно своего фундаментального значения за счет световых и прочих технических сдвигов, либо неверна формула Брейта-Раби. Какой из этих вариантов автору представляется более правдоподобным?

5. По стилю работы также есть ряд замечаний. Общепринятые термины «оптическая накачка» и «гипогеомагнитные поля» автор пишет в кавычках. В тексте есть ряд опечаток, таких, как «проведение исследование» (стр.8), «комплекс содержащий три немагнитный комнаты» (стр.30), «Программы разработана» (стр.50, 94), «результатов второго этап» (стр.64), «которое представления собой» (стр.89), «кольцевые образца» (стр.93), и т.д.; об этих и других незначительных погрешностях сообщено автору. В то же время следует отметить, что работа в общем и целом написана ясным хорошим литературным языком, свидетельствующем о широком кругозоре автора.

6. Заключение по работе

Приведенные замечания носят частный характер и безусловно не снижают научной и практической значимости работы.

Диссертация Беякова Д.И. является научно-квалификационным трудом, представляющим завершённую и полноценную самостоятельную научно-исследовательскую работу в области метрологии магнитного поля.

Совокупность приведенных в диссертации Беякова Д.И. материалов следует характеризовать, как решение проблемы, имеющей существенное значение для обеспечения единства измерений в России в области магнитных измерений на основе созданных подкомплексов Государственного первичного эталона единиц магнитных величин ГЭТ 12.

Научно-квалификационный уровень работы полностью соответствует требованиям, предъявляемым «Положением о присуждении ученых степеней» (постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года №842), а её автор, Беляков Денис Игоревич, заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения по видам измерений (измерения электрических и магнитных величин).

Официальный оппонент

ведущий научный сотрудник Лаб. Атомной Радиоспектроскопии

Отделение физики плазмы, атомной физики и астрофизики

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук

доктор физико-математических наук

 А.К. Вершовский

Подпись Вершовского А.К. удостоверяю

Ученый секретарь ФТИ им. А. Ф. Иоффе

кандидат физико-математических наук





М. И. Патров