

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Белякова Дениса Игоревича

на тему: «Разработка и исследование методик и средств измерений для расширения диапазона и функций государственного первичного эталона ГЭТ 12-2011 при передаче единиц магнитной индукции постоянного поля и магнитного потока вторичным и рабочим эталонам»

по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения по видам измерений на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Измерение индукции магнитных полей насущная задача современной науки и техники. Это связано не только с генерацией магнитных полей для различных задач, но и для измерения побочных полей, возникающих при работе различных технических средств, которые могут влиять работу магниточувствительных изделий или даже причинять вред здоровью окружающих людей.

Работа с магнитными полями осложнена тем, что человек не имеет органов чувств, способных регистрировать какие-либо магнитные поля. И, если вред постоянных магнитных полей для здоровья не доказан, то переменные поля часто оказывают не самое полезное влияние на живые организмы. Поэтому задача определения величин магнитных полей актуальна и востребована современными техническими и научными отраслями.

Проблема детектирования магнитных полей состоит в том, что прямых методов их измерения не существует. Из всех методов только ЯМР представляется самым чувствительным, в котором частота магнитного резонанса прямо пропорциональна магнитному полю и точность измерения индукции сводится к точному определению частоты. Современные частотомеры, имеющие квантовые стандарты частоты позволяют выполнять рекордно точные измерения.

Помехой для таких точных измерения служат внешние поля, в частности магнитное поле Земли и его флуктуация. Для того, чтобы компенсировать такое поле, необходимо также компенсировать его локальную неоднородность. В результате, система для прецизионного измерения индукции полей превращается в сложную систему катушек и вспомогательного оборудования.

Оптимально сконфигурировать систему для измерения магнитных полей, сделать её универсальной и надёжной — задача, требующая большого объёма знаний и опыта. Эта работа демонстрирует, что автор этими ресурсами располагает и квалифицировано подходит к решению проблемы.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения с выводами. Полный объём диссертации составляет 140 страниц с 34 рисунками и 10 таблицами, 36 страниц — приложения. Список литературы содержит 36 наименований. В списке имеются 4 статьи, написанные в соавторстве с диссертантом, входящих в перечень ВАК.

В **первой главе** работы проведён достаточно полный обзор существующих в мире средств и методов измерения индукции магнитных полей, эталонов для области измерений магнитной индукции постоянного поля. Проведен анализ состояния метрологического обеспечения измерений магнитной индукции постоянного поля в области «средних», «сильных» и «гипогеоманитных» полей и магнитного потока в нелинейно-гистерезисных средах. Обозначены проблемы в области измерения индукции магнитных полей.

С целью их решения был разработан и создан опытные образцы подкомплексов действующего эталона ГЭТ12-2011, позволяющего расширить диапазон и функции эталона при передаче единицы магнитного потока с максимально гибким программным обеспечением. Подробные описания составов и структур подкомплексов на два востребованных диапазона магнитных полей приводятся **во второй и третьей главах**



диссертации. Проведена оценка неопределенности воспроизведения единицы магнитной индукции разработанными подкомплексами, которые оказались в рамках расчётной.

В четвертой главе описывается разработка эталонного подкомплекса для расширения функций первичного эталона при передаче единицы магнитного потока в область измерений параметров магнитных материалов. Причём особое внимание уделено программному обеспечению, которое создавалось с учётом существующей проблемы методической ошибки при измерении параметров магнитных материалов. И так же проводится оценка неопределенности определения магнитных параметров материалов.

Стоит отметить, что в конце каждой главы автор подводит краткий итог, что очень удобно для поиска информации при повторном прочтении работы.

В приложении к работе имеются копии актов внедрения, патента на изобретение, методики калибровки магнитометров и сертификат соответствия на программу воспроизведения магнитной индукции постоянного поля гипогеомагнитного диапазона на базе ГЭТ12-2011.

Автор в достаточной мере показал владение знаниями построения магнитно-измерительных систем. Результаты и выводы диссертанта обоснованы и достоверны, они опираются на существующую теоретико-методологическую базу.

К достоинствам диссертации стоит отнести весьма подробный обзор и анализ существующих систем измерения индукции магнитных полей. Значимым итогом работы является то, что разработанные и созданные опытные образцы подкомплексов действующего эталона ГЭТ12-2011 оказались в состоянии решить проблемы существующих измерительных систем.

Стоит отметить, что особое внимание в работе уделяется существующей проблеме методической ошибки измерений параметров магнитных материалов и её решение автором успешно реализовано в программном обеспечении.

Весьма значимым результатом работы является получение патента «Способ воспроизведения магнитной индукции в «гипогеомагнитном» диапазоне».

Необходимо отметить оригинальную методику передачи единицы Тл в диапазон (1 – 25) мТл, позволяющая произвести передачу размера единицы с суммарной относительной неопределённостью от $4,2 \cdot 10^{-7}$ до $2,1 \cdot 10^{-6}$.

Особое внимание автора уделено созданию программного обеспечения, что подчёркивает его владение современными методами программирования и придаёт его работе законченный вид.

Основным достоинством работы является внедрение её результатов во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева», АО «НИИ СТТ», ООО «Геодевайс».

Очевидно, что результаты работы по достоинству будут оценены организациями, работающими в области измерения индукции магнитных полей, калибровки магнитоизмерительной аппаратуры, магнитометров, измерений параметров магнитных материалов.

Диссертация написана понятным языком. Работа имеет логичную структуру, удобную для чтения и поиска информации при повторном прочтении. Каждый из указанных пунктов отражается под соответствующим заголовком в виде развернутого тезиса в строгой последовательности.

Текст диссертации не лишён недостатков. Например,

1. Слово «гипогеомагнитное» автор иногда помещает в кавычки. Это устоявшийся термин и в кавычки заключать его не требуется.
2. В формулировке закона Фарадея не указано, что ε — это ЭДС (электродвижущая сила).

3. На стр. 18 при описании приборов, основанные на свободной ядерной прецессии указывается, что в качестве рабочего вещества используется вода, далее описывается предварительная поляризация постоянным полем и в этом же предложении упоминается эффект Оверхаузера, при котором в качестве рабочего тела выступает не вода, а жидкость с парамагнитными радикалами. Это не отмечено и может ввести в заблуждение читателя.
4. Просто полезное уточнение: В ЯМР для более простого перевода линейной частоты в поле и наоборот вместо гиромагнитного отношения γ удобно использовать константу $\gamma/2\pi$, которая для протонов имеет значение $4258 \text{ Гц} \cdot 10^4/\text{Тл}$
5. На стр. 20 некорректное выражение в предложении: «...вычисляется через частоту прецессии ядер и гиромагнитное отношение рабочего вещества». Термин «гиромагнитное отношение» может применяться только к ядрам, но не к молекулам и веществам. Следует написать: «... прецессии ядер и их гиромагнитное отношение».

Кроме того, в работе имеются опечатки и пунктуационные ошибки. В целом эти недостатки не снижают ценности работы и не влияют на практические результаты диссертации.

Данная диссертационная работа «Разработка и исследование методик и средств измерений для расширения диапазона и функций государственного первичного эталона ГЭТ 12-2011 при передаче единиц магнитной индукции постоянного поля и магнитного потока вторичным и рабочим эталонам» отвечает требованиям пп. 9-14 положения «О порядке присуждения ученых степеней» ВАК Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842, поскольку представляет собой завершённую технически-квалификационную работу, в которой автор выполнил анализ существующего измерительного оборудования магнитных полей и разработал измерительную систему, свободную от выявленных недостатков. Ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.11.01 – Приборы и методы измерения по видам измерений.

Ассистент кафедры ядерно-физических методов исследования физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета, к. ф.-м. н.

Тел.: +7 952 379-59-50

e-mail: p.kupriyanov@spbu.ru

Куприянов П.А.

Личную подпись заверяю
И.о. начальника отдела кадров №3
Колесов И.И. Колесникова

Документ подготовлен
в порядке исполнения
трудовых обязанностей