

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Орлова Андрей Андреевича «Измерение параметров источников неоднородного магнитного поля в нестационарных условиях преобразователями Холла», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

**1. Актуальность** представленной диссертационной работы не вызывает сомнений. В настоящее время разрабатывается и внедряется большое число различных метаматериалов, обладающих магнитными свойствами, и устройств микроэлектроники, которые создают различной конфигурации магнитные поля в зоне своего размещения. Параметры этих полей необходимо контролировать с высокой точностью.

Необходимо отметить, что значение данных полей в ряде случаев необходимо контролировать за короткие промежутки времени. Временные интервалы в течении, которых необходимо контролировать параметры магнитного поля определяются условиями эксплуатации электронных систем, задачами, которые они решают и т.д. Большинство разработанных магнитометров или не обладают необходимыми точностными характеристиками и быстродействием или не предназначены для проведения подобных измерений. К ним также относятся современные конструкции магнитометров на основе датчиков Холла. Современные конструкции квантовых магнитометров, особенно на оптически ориентированных атомах, могут выполнять данные задачи. Но эти приборы обладают большими габаритами и высокой стоимостью. Размещение их корпусах устройств, в которых необходимо будет контролировать параметры магнитного поля достаточно сложная задача. Кроме того, рациональность такого решения крайне низкая с различной точки зрения.

Поэтому разработка методов увеличения быстродействия магнитометров, датчики которых могут быть размещены в различных устройствах, а также точности измерения параметров нестационарного и неоднородного магнитного поля является достаточно актуальной задачей. Результат её решения имеет различное практическое применение как в промышленных устройствах, так и для проведения научных исследований.

**2. Обоснованность и новизна научных результатов диссертационной работы.**

Из основных результатов диссертационной работы следует в первую очередь отметить, что поставленные задачи по разработке методов для увеличения точности и быстродействия измерения параметров источников магнитного поля в нестационарных условиях Орловым Андрей Андреевичем решалась комплексно: проводились как экспериментальные

исследования, так и рассматривались их теоретические аспекты. Это позволило при решении задачи, стоящей перед автором, получить им ряд **новых результатов**. Среди которых следует отметить:

1. Разработку оригинального метода компенсации эффектов, ограничивающих точность и быстродействие преобразователей Холла;
2. Разработку параметрические модели намагниченного образца и токовых систем как источников магнитного поля для использования в системах компенсации алгоритмов коммутации токов;
3. Разработку метода определения момента и положения магнитного диполя по результатам измерения распределения вектора магнитной индукции, достигающий предела Рао – Крамера;
4. Разработку нового метода анализа остаточной намагниченности образца, принцип работы которого основан на поочередной оценке медленно и быстро меняющихся составляющих намагниченности.

Достоверность и обоснованность полученных результатов, выводов и рекомендаций диссертационной работы подтверждается научными публикациями в изданиях (SCOPUS, Web of Science, ВАК и т.д.), конкретными применениями, результатами обсуждения работы на конференциях различного уровня (в том числе и международных), а также патентом и свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ, полученными Орловым А.А.

### **3. Научная ценность и практическая ценность результатов диссертационной работы.**

**Научная ценность** результатов работы заключается в том, что предложенные автором методы определения момента и положения магнитного диполя по результатам измерения распределения вектора магнитной индукции и анализа остаточной намагниченности образца, а также соотношения взаимности для нелинейного многополосника в неоднородном магнитном поле и в нестационарных условиях и новое слагаемое, описывающее нелинейное изменение магнитных свойств ферромагнетика под действием деформации позволяют расширить возможности по проведению научных исследований различных ферромагнитных веществ для получения новых результатов с использованием датчиков Холла.

**Практическая значимость** работы определяется тем, что результаты её применимы для:

1. Разработки новых типов преобразователей и усилителей на эффекте Холла, а также приборов на магнитостатических волнах;
2. Для уменьшения погрешности измерения параметров магнитного поля за счет устранения систематических погрешностей измерения при использовании алгоритмов коммутации токов;

3. Для увеличения информативности микроструктурного анализа слабо намагниченных образцов за счет использования метода обработки топографии компонент вектора магнитного поля;
4. Для определения намагниченности плоских ферромагнитных образцов, которая соответствует областям необратимых деформаций. Это крайне важно при эксплуатации различных приборов;

**4. По рецензируемой диссертации можно сделать следующие замечания:**

1. Совершенно не ясно, из каких соображений в введении диссертации (стр. 10) автор написал следующее: «Наиболее точные квантовые магнитометры не могут обеспечить необходимую чувствительность в широком диапазоне значений магнитной индукции и большом градиенте измеряемого поля [13]. Кроме того, измерение компонент вектора магнитного поля требует существенного усложнения схемы измерений и обычно не применяется. Поэтому далее рассмотрены только те методы, которые используются в условиях неоднородного поля и позволяют измерить компоненты вектора индукции магнитного поля.». Возникает вопрос, почему на мировом рынке успешно работает компания GEM Systems, выпускающая трехкомпонентные магнитометры с чувствительностью 2.5 пТл при частоте регистрации 1 Гц и т.д. Данные приборы успешно работают как в поле Земли, так в более сложных условиях.

Ссылка на работу 2007 года не является основанием для данного утверждения.

2. Крайне неудачно представлено содержание параграфа диссертации 1.1.3 из представленного в нем материала следует, что квантовые магнитометры не могут работать в неоднородных магнитных полях. Причем не указаны в каких именно полях по индукции и неоднородности. Ссылки даны на работы или 30 летней давности или мало относящиеся к квантовым магнитометрам. На работы академика РАН Б.Е. Александрова ссылок нет. И параграф заканчивается недостатками, рассмотренных методов обработки сигналов, которые в магнитометрах с оптической накачкой и ЯМР магнитометрах в настоящее время не применяются. Какой смысл заложил автор в этот параграф и какой вывод он хотел сделать, остается не ясным?

3. Совершенно неправильно вставлять в диссертацию плохо отсканированные рисунки 2.6 и 2.7 (стр. 56 и 57). Если внимательно посмотреть на графики и подписи к ним, можно предположить, что автор перепутал рисунки местами. По-другому сложно объяснить увиденное.

4. Необходимо, что в диссертации и автореферате на ряде рисунком присутствует погрешность измерений, а в большинстве случаев она

отсутствует. При этом в тексте обсуждаются погрешности измерения и повышение точности.

5. Еще одно замечание, скорее всего можно отнести к стилю представления автором материала. Ряд предложений и терминов, используемых в диссертации автореферате вызывает дополнительные вопросы. Например, третий пункт практической значимости работы: Разработанный метод коммутации тока позволяет уменьшить влияние температурного дрейфа показаний векторных магнитометров на погрешность измерений холловского магнитометра. Возникает вопрос какой тип векторного магнитометра здесь имеется в виду?

В заключении 7 пункт, предложение: «Это позволяет существенно снизить вычислительные затраты при моделировании макроскопических образцов.». Какие вычислительные затраты и нужно ли это писать в диссертации?

Указанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы Орлова А.А., которая завершена научным исследованием, а сам соискатель показал себя квалифицированным специалистом в области экспериментальной физики.

Результаты, полученные в работе и использованные методы решения поставленных задач, полностью соответствуют специальности: 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Автореферат и публикации отражает содержание работы.

Диссертация полностью отвечает п. 9 Положения ВАК РФ «О присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года, а её автор, Орлов Андрей Андреевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент,  
Профессор Высшей школы  
«Прикладной физики и космических технологий»  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого»,  
д.ф.-м.н., доцент  
телефон: +79112866330  
E-mail: davydov\_vadim66@mail.ru

Давыдов Вадим Владимирович

Подпись Давыдова В.В. заверяю:

