

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА**  
**Д 002.034.01 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО**  
**БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ АНАЛИТИЧЕСКОГО**  
**ПРИБОРОСТРОЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИАП РАН),**  
**Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**  
**ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА**  
**НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от «06» октября 2017 г. №5

о присуждении Дьяченко Семену Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Измерение намагниченности коллоидных растворов и порошков ферромагнитных наночастиц в стационарных условиях методом ЯМР» по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики принята к защите 15 июня 2017 г., протокол № 3 диссертационным советом Д002.034.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт аналитического приборостроения Российской академии наук (ИАП РАН), 190103, Санкт-Петербург, Рижский пр., д.26, приказ 714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель Дьяченко Семен Владимирович, 1989 года рождения. В 2012 году соискатель окончил ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)» по специальности инженер-технолог. В 2016 году окончил аспирантуру на кафедре общей физики в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)». Работает в должности инженера в Санкт-Петербургском государственном технологическом институте (техническом университете).

Диссертация выполнена в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Жерновой Александр Иванович, профессор кафедры общей физики ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)».

Официальные оппоненты:

1. Неронов Юрий Ильич, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГУП «Всероссийского научно-исследовательского института метрологии им. Д.И. Менделеева»,
2. Давыдов Вадим Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры квантовая электроника ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого» дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» кафедра физики, кафедра фотоники и линий связи, в своем положительном заключении, подписанном Дудкиным Валентином Ивановичем, профессором, д.ф.-м.н.; Колгатиным Сергеем Николаевичем, заведующим кафедрой физики, д.ф.-м.н. профессором; Глаголевым Сергеем Федоровичем, заведующим кафедрой фотоники и линий связи, к.т.н., доцентом; утвержденном Владыко Андреем Геннадьевичем и.о. проректора по научной работе, к.т.н., доцентом, указала на следующие замечания:

- Во второй главе приведено сравнение разработанного метода определения намагниченности порошка и электромагнитного метода, реализуемого на серийном исследовательском оборудовании – вибрационном магнетометре. В результате сравнения асимметрия кривой намагничивания одного и того же порошка оказалась выше у электромагнитного метода. Это обстоятельство не объяснено.
- В диссертации не разъяснено, каким образом обеспечивается направление переменного магнитного поля датчиков 4 и 5 перпендикулярное внешнему магнитному полю.
- В диссертации не приводится вывод зависимости случайной погрешности измерения намагниченности от расхода жидкости и длины измерительной катушки.
- В случае использования экспресс метода определения намагниченности по двум точкам кривой намагничивания магнитной жидкости (метод 1), в работе найдено среднее значение намагниченности всего лишь по трем парам точек, хотя, в целях снижения погрешности измерения, необходимо определять значение искомой величины по пяти парам точек.
- Предлагаемый метод использовался для измерения намагниченности магнитных жидкостей и порошков. В работе не указана возможность применения этого метода для твердых компактных веществ.

Соискатель имеет по теме диссертации 20 (двадцать) работ, из них опубликованных в рецензируемых научных изданиях 10 (десять). К наиболее значимым работам, отражающим основное содержание диссертации относятся:

1. Жерновой, А.И. Исследование методом ЯМР выполнения закона Кюри в золях парамагнитных наночастиц / А.И. Жерновой, Ю.Р. Рудаков, **С.В. Дьяченко** // Научное приборостроение. – 2012. – Т. 22, №1. – С. 52–54. (ВАК).
2. Жерновой, А.И. Исследование зависимости константы Кюри суспензии суперпарамагнитных наночастиц от индукции магнитного поля / А.И. Жерновой, В.Н. Наумов, **С.В. Дьяченко** // Научное приборостроение. – 2012. – Т. 22, №3. – С. 58–60. (ВАК).
3. Жерновой, А.И. Влияние структурообразования в растворе ферромагнитных наночастиц на коэффициент размагничивания образца / А.И. Жерновой, **С.В. Дьяченко** // Научное приборостроение. – 2013 – Т. 23, № 3. – С. 98–100. (ВАК).
4. Жерновой, А.И. Экспрессный метод измерения намагниченности насыщения и магнитного момента наночастиц в магнитной жидкости с помощью ядерного магнитного резонанса/ А.И. Жерновой, **С.В. Дьяченко** // Известия СПбГТИ(ТУ) – 2013. – № 20(46). – С. 12–13. (ВАК).
5. Жерновой, А.И. Об измерении термодинамической температуры с использованием парамагнитного термометрического вещества / А.И. Жерновой, **С.В. Дьяченко** // ЖТФ – 2015. – Т. 85, вып.4, С.118-122. (WoS, Scopus, ВАК).
6. Жерновой, А.И. Определение дисперсии магнитного момента наночастиц в магнитной жидкости / А.И. Жерновой, **С.В. Дьяченко** // Научное приборостроение. – 2015. – Т. 25, № 1. – С. 42–47. (ВАК).
7. Жерновой, А.И. О выполнении закона Кюри в магнитных жидкостях / А.И. Жерновой, **С.В. Дьяченко** // Известия ВУЗов. Физика. – 2015. – Т. 58, № 1. – С. 119–122. (WoS, Scopus, ВАК).
8. Жерновой, А.И. Определение магнитных характеристик наночастиц  $MgFe_2O_4$ , полученных глицин-нитратным синтезом / А.И. Жерновой, А.А. Комлев, **С.В. Дьяченко** // ЖТФ – 2016. – Т. 86, вып.2. С.146-148. (WoS, Scopus, ВАК).
9. Ferroelectric core/magnetic shell approach to control electric properties of composites / М.М. Sychov, Shilova O.A., Matveychikova P.V., Khamova T.V., Vasina E.S., **Diachenko S.V.**, Zhernovoy A.I., Kopitsa G.P. // JJAP (2016) 011101. – P. 1–6. (WoS, Scopus, ВАК).
10. Размер, морфология и свойства частиц феррошпинелей переходных металлов типа  $MFe_2O_4$  ( $M = Co, Ni, Zn$ ), полученных в условиях глицин-нитратного

горения / **С.В. Дьяченко** [и др.] // ЖПХ – 2016. – Т.89. Вып.4. – С. 417–421. (WoS, Scopus, ВАК).

Соискателем сформулированы задачи, выполнены научные исследования; осуществлен обзор литературы; разработан метод измерения намагниченности веществ, в том числе и наноматериалов, методом ЯМР; разработаны методы определения магнитных моментов ферромагнитных наночастиц в магнитной жидкости, которые можно применять, в том числе и для экспресс-анализа на производстве. Исследовано и доказано выполнение закона Кюри в магнитной жидкости. Предложены методы измерения термодинамической температуры, где в качестве термометрического вещества должна использоваться магнитная жидкость. Разработан метод контроля присутствия конгломератов частиц в магнитной жидкости. Исследованы седиментационные процессы в магнитных жидкостях и суспензиях ферромагнитных наночастиц, которые важны при использовании в медицине.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Неронова Юрия Ильича, доктора физико-математических наук, профессор, главного научного сотрудника ФГУП «Всероссийского научно-исследовательского института метрологии им.Д.И. Менделеева»

Замечания:

- «В конструкции чувствительного элемента установки используются керамические ферритовые магниты, имеющие, как известно, большую неоднородность. Соискателю следовало бы пояснить: каким образом следует учитывать неоднородность таких магнитов?»

- «В работе следовало указано, в каком случае целесообразно применять тот или иной способ определения магнитного момента частиц в магнитной жидкости?»

- «В третьей главе диссертации встречаются термины «агрегаты частиц» и «конгломераты частиц» и эти термины применяются к одному и тому же явлению – объединению частиц. Остаются вопросы: следует ли различать эти термины?»

- «В третьей главе работы исследованы свойства двух видов суспензий. Осталось не ясным, почему один вид суспензии с различной концентрацией сравнивался между собой по скорости седиментации, а второй по времени полуоседания.»

2. Давыдова Вадима Владимировича, кандидата физико-математических наук, доцента кафедры квантовая электроника ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого»

Замечания:

- «Совершенно не ясно, почему во введении диссертации и автореферата автор упоминает методы, позволяющие определять намагниченность вещества по

измерению его магнитной восприимчивости  $\chi$  с использованием закона Кюри, который неоднократно упоминается в тексте диссертации и автореферате? Необходимо отметить, что промышленных приборов, которые измеряют магнитную восприимчивости  $\chi$  выпускается достаточно много, контроль температуры вещества в приборе осуществляется автоматически с достаточно высокой точностью»;

- «В разделе автореферата и диссертации, в которых рассматривается научная новизна работы 4 пунктом представлено следующее утверждение: «Показано, что кривая намагничивания магнитной жидкости, снятая на установке, адекватна теории Ланжевена, что подтверждает соответствие экспериментальных результатов теоретическим расчетам». Очень сложно понять, в чем тут научная новизна результатов исследований? Этот пункт более логично было бы перенести в раздел практическая значимость работы, показав тем самым, что разработанный метод позволяет получать достоверные результаты, которые не противоречат классической теории»;

- «Необходимо отметить, что в автореферате и диссертации автор достаточно вольно обращается с обозначениями физических величин и их единицами измерения (например, на стр. 8 автореферата введена следующая величина:  $\beta=42,5\text{МГц/Тл}$  - гиромангнитное отношение протонов, ранее с её использованием вычисляется резонансная частота  $f_1$ . Обозначение, используемое в классической теории магнитного резонанса гиромангнитного отношения ядер -  $\gamma$  (единицы измерения МГц/Тл или м·кГц/А) вводится значительно позже, через  $\beta$ ). На рис. 7 автореферата концентрация стабилизатора  $C$  представлена цифрами от 0 до 1.0, можно только догадываться про единицы её измерения. Тоже самое относится к рисунку 8 в автореферате - величина  $1/\chi$  без единиц измерения. Все эти неточности и ошибки не принципиальны за исключением. Но их присутствие портит представление о проделанной работе»;

- На странице 18 автореферата отмечено, что предложен метод для измерения термодинамической температуры ( $T$ ) в диапазоне 273-373 К, в котором в качестве термометрического вещества используется магнитная жидкость. В основе метода лежит закон Кюри. В диссертации на стр. 100 и 102 термодинамическая температура ( $T$ ) этим методом измеряется в диапазоне 253-353 К. Также не приведено сравнение предложенного автором метода с новейшими датчиками температуры ведущих зарубежных фирм, в которых для измерения  $T$  используется отраженное и рассеянное лазерное излучение видимого или ИК диапазона от объектов исследования, включая атмосферу, или оптоволоконные датчики. Данные приборы для отмеченных диапазонов измерения температур, гарантируют второй

знак после запятой».

3. Данильченко Валерия Григорьевича, кандидата физико-математических наук, доцента, старшего научного сотрудника лаборатории фотоэлектрических преобразователей ФГБУН «Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН»

Замечания:

«В автореферате есть орфографические и стилистические ошибки, а рисунок 1 – схема установки, который является основным в автореферате, слишком неразборчивый».

4. Голубевой Ольги Юрьевны, доктора химических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории исследования наноструктур ФГБУН «Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН»

Замечание:

«В автореферате не уделено достаточного внимания магнитным свойствам твердых веществ, хотя именно такие вещества получили наибольшее распространение и применение».

5. Сычева Максима Максимовича, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой теоретических основ материаловедения ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)». Без замечаний.

6. Балашова Виктора Михайловича, доктора технических наук, профессора, заместителя Генерального конструктора по программно-целевому развитию, директора научно-образовательного комплекса акционерного общества «Научно-производственное предприятие «РАДАР ММС».

Замечания:

- «Диссертация посвящена разработке методов измерения намагниченности, однако, в автореферате основное внимание уделено методам определения магнитных моментов наночастиц.

«Не раскрыты все возможности применения метода. Например, для измерения слабых магнитных полей (магнитного поля Земли).

- В автореферате имеются орфографические и пунктуационные ошибки.

- Автореферат содержит рисунки, которые напечатаны неразборчиво.

7. Нефедовой Любови Александровны, кандидата технических наук, начальника научно-исследовательского технологического центра аддитивных технологий и материалов ООО «СЗРЦ Концерна ВКО «Алмаз-Антей».

Замечание:

«Автореферат имеет стилистические ошибки; рисунок 7 недостаточно четко напечатан».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается большим опытом работы в области физики и технологии ядерного магнитного резонанса, магнитных явлений, магнитометрической и квантовой техники, а также в области материаловедения ферромагнитных наноструктур.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая экспериментальная методика измерения намагниченности в постоянном и однородном магнитном поле методом ЯМР, позволяющая производить измерение магнитных свойств веществ в магнитных жидкостях в стационарных условиях;

доказано, что зависимость намагниченности магнитной жидкости от магнитной индукции соответствует теории Ланжевена для парамагнетиков; в частности, зависимость магнитной восприимчивости от температуры адекватна закону Кюри, что дает возможность применения магнитных жидкостей в качестве термометрического вещества;

получено соответствие экспериментальных значений намагниченности, измеренных разработанным методом, значениям, определенным экспериментальным (электромагнитным) методом на серийном приборе (вибрационном магнетометре);

предложены методики определения магнитных моментов наночастиц, позволяющие сократить число измерений намагниченности и определять дисперсию распределения магнитных моментов наночастиц в магнитной жидкости;

показана возможность применения предложенного в диссертации метода измерения намагниченности для контроля наличия конгломератов в магнитной жидкости, путём определения коэффициента размагничивания, и для контроля седиментационной устойчивости, путем определения скорости седиментации магнитных наночастиц;

показано, что магнитная жидкость может использоваться в качестве термометрического вещества для измерения термодинамической температуры без реперных точек, что актуально в образцовых и эталонных методах.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

установлено, что кривая намагничивания магнитной жидкости полностью соответствует теоретической зависимости Ланжевена для парамагнетиков, т.к. разработанный метод измерения намагниченности по уравнению

$M = \frac{B}{\mu_0} - H$  (1), учитывает межчастичные взаимодействия наночастиц;

обосновано, что определение намагниченности по (1) точнее, чем по уравнению

$M = \frac{B - B_0}{\mu_0}$  (2), где  $B$  и  $B_0$  – индукция магнитного поля при наличии и при

отсутствии образца, т.к. формула (2) не учитывает коэффициент размагничивания;

доказано, что магнитная восприимчивость для парамагнетиков определяется

выражением  $\chi = \frac{M\mu_0}{B}$  (3), а не  $\chi = \frac{M}{H}$  (4), т.к. формула (4) не учитывает

межчастичные взаимодействия. Для молекулярных парамагнетиков отличие формул

несущественно, а для магнитных жидкостей принципиально, т.к. при

использовании формулы (3) выполняется закон Кюри, а при использовании

формулы (4) выполняется закон Кюри-Вейсса;

предложено определять магнитные моменты наночастиц по двум точкам кривой

намагничивания предполагает нахождение  $M$  по уравнению (1), т.к. при

использовании уравнения (2) формула Ланжевена не описывает зависимость  $M(B)$ .

Применительно к проблематике диссертации результативно, с получением  
обладающих новизной результатов,

использован комплекс существующих математических методов и основ магнетизма  
для разработки способов определения магнитных моментов наночастиц в  
магнитной жидкости, для разработки метода контроля устойчивости коллоидных  
растворов ферромагнитных наночастиц;

проведена модернизация описания магнитной восприимчивости, которая  
учитывает межчастичное взаимодействие в магнитной жидкости;

на основании модели определены условия выполнения закона Кюри или Кюри-  
Вейсса в магнитной жидкости;

изучена связь величины измеряемой константы Кюри от внешних и внутренних  
факторов, влияющих на ее постоянство, что важно для применения магнитных  
жидкостей в датчиках температуры;

показано, что использование предложенного метода измерения намагниченности  
позволяет определять скорость седиментации коллоидного раствора. Это важно  
для применения коллоидных растворов в медицине при их введении в живой  
организм.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики  
подтверждается тем, что:

разработана, изготовлена и использована экспериментальная установка,  
позволяющая определять магнитные свойства ферромагнетиков, в том числе в виде  
коллоидных растворов и порошков наноматериалов;



представлены рекомендации 1) по конструированию прибора для измерения намагниченности в постоянном и однородном магнитном поле методом нутации; 2) по контролю устойчивости и пригодности коллоидных растворов; 3) по созданию приборов на основе предложенных методов измерения температуры.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что все результаты, полученные предложенным методом, совпадают с результатами, полученными при измерении современным электромагнитным методом на установке вибрационный магнетометр (VSM-5T Cryogenic Ltd), а также с теоретическими расчетами; показана сходимость экспериментальных результатов, определена погрешность измерений; технические характеристики средств испытаний и измерений были достаточными для подтверждения соответствия испытываемых изделий установленным требованиям.

Личный вклад соискателя состоит в формулировке цели и задач; выявлении, на основе выполненного анализа литературы, недостатков существующих методов измерения намагниченности и направления исследования; сборке установки для измерения намагниченности, постановке и проведении экспериментов; сопоставлении с работами других исследователей.

На заседании 06.10.2017 г. Диссертационный совет принял решение присудить Дьяченко С.В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 14 докторов наук, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав Совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 14, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель  
Диссертационного совета,  
д.т.н., проф.

В.Е. Курочкин

Ученый секретарь  
Диссертационного совета,  
д.ф.-м.н.

А.Л. Буляница

06.10.2017