

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»
(СПбГУТ)

Юридический адрес: набережная реки Мойки,
д. 61, Санкт-Петербург, 191186

Почтовый адрес: пр. Большевиков, д. 22, корп. 1,
Санкт-Петербург, 193232
Тел. (812) 3263156, Факс: (812) 3263159
E-mail: rector@sut.ru
ИНН 7808004760 КПП 784001001
ОГРН 1027809197635 ОКТМО 40909000

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по научной работе,
канд. техн. наук, доцент



Дукельский
Константин Владимирович

« 14 » 12 20 14 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» на диссертацию Давыдова Вадима Владимировича на тему «Методы управления движением вектора ядерной намагниченности в текущей жидкости в спектрометрах и магнитометрах»

Диссертация «Методы управления движением вектора ядерной намагниченности в текущей жидкости в спектрометрах и магнитометрах» выполнена на кафедре фотоники и линий связи.

В период подготовки диссертации соискатель Давыдов Вадим Владимирович работал в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича" на кафедре фотоники и линий связи в должности доцента кафедры.

В 1997 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 01.04.03 – Радиофизика в Санкт-Петербургском государственном техническом университете.

Научный консультант – Дудкин Валентин Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

"Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича", кафедра фотоники и линий связи, профессор кафедры.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Личное участие соискателя заключается в том, что все основные научные результаты, изложенные в диссертации, получены автором самостоятельно, а именно:

1. Условие получения максимального значения коэффициента инверсии вектора намагниченности в текущей жидкости.
2. Модифицированные уравнения Блоха.
3. Новый метод измерения расхода жидкости q на основе явления ядерного магнитного резонанса.
4. Новая методика определения чувствительности ЯМР магнитометра на текущей жидкости.
5. Новый метод измерения времени продольной релаксации в текущей жидкости.
6. Способ уменьшения времени продольной релаксации в текущей жидкости.
7. Новый метод измерения времени продольной релаксации конденсированной среды в слабом магнитном поле.
8. Новый метод обработки сигнала ЯМР.

Достоверность результатов подтверждается соответствием выводов теоретического анализа и экспериментальных результатов, полученных несколькими независимыми методами. Теоретический анализ проводился на основе известного математического аппарата и программ численного моделирования. Полученные результаты и сделанные на их основании выводы, а также рекомендации, содержащиеся в диссертационной работе, опубликованы в различных журналах и неоднократно обсуждались на международных конференциях.

Новизна результатов состоит в том, что:

1. Условие максимального значения коэффициента инверсии вектора намагниченности в текущей жидкости установлено впервые.
2. В отличие от ранее используемых методов расчета в предложенной соискателем модели поведения вектора намагниченности в постоянном магнитном поле учитывается его неоднородность и модуляция, которые в предыдущих расчетах не рассматривались.

3. Метод измерения расхода жидкости q с использованием регистрируемого сигнала ЯМР на уровне шумов предложен впервые.

4. В отличие от предыдущих методик определения чувствительности ЯМР магнитометров в представленной в диссертации методике учтено пространственное разделение зон измерения магнитного поля и регистрации сигнала ЯМР.

5. В отличие от ранее используемого метода, в котором значение времени продольной релаксации в текущей жидкости определялось при оптимальном расходе жидкой среды, которое зависит от параметров конструкции ЯМР расходомеров (не всегда данное q можно обеспечить в системе), предложенный диссертантом метод позволяет проводить измерения времени продольной релаксации во всем диапазоне измеряемых расходов q .

6. Явление уменьшения времени продольной релаксации в текущей жидкости в магните-поляризаторе исследовалось впервые.

7. Метод измерения времени продольной релаксации конденсированной среды в слабом магнитном поле разработан впервые.

8. Метод обработки сигнала ЯМР, регистрируемого с использованием модуляционной методики в слабом магнитном поле разработан впервые.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что:

1. Установленное соотношение позволяет: повысить точность измерения физических величин в ЯМР расходомерах и магнетометрах, увеличить в ЯМР расходомерах диапазон измерения расхода жидкости (с погрешностью менее 1,0 %) в зависимости от конструкции прибора на 20 % и более.

2. Полученные в результате моделирования физических экспериментов данные о значениях полей H_1 и H_m позволяют разработать оптимальные параметры катушек нутации и модуляции для проведения измерений различных физических величин с помощью ЯМР расходомеров и магнитометров с погрешностью менее 1,0 %.

3. Новый метод позволяет обеспечить измерение расхода жидкости q с погрешностью менее 1,0 % во всем диапазоне работы ЯМР расходомера.

4. Использование данной методики позволяет выбрать оптимальные для проектируемого магнитометра геометрические размеры катушки нутации, параметры магнитных систем, константы релаксации текущей среды и т.д. В результате этих мер удалось обеспечить при измерении погрешность менее 1,0 %, в ранее используемых

конструкциях ЯМР магнитометров погрешность измерения сильных неоднородных магнитных полей превышала 3,0 %.

5. Использование новых конструктивных решений позволяет осуществлять контроль состояния текущей среды в реальном времени во всем диапазоне измеряемых расходов, что ранее было невозможно.

6. Установленное явление уменьшения времени продольной релаксации в текущей жидкости в магните-поляризаторе позволяет создать новые среды, например, релаксационный лед и т.д.

7. Новый метод измерения времени продольной релаксации позволяет реализовать экспресс-контроль состояния конденсированных сред в месте взятия пробы для решения различных задач.

8. Предложенный метод обработки сигнала ЯМР позволяет при экспресс-контроле жидких сред определять их состав и относительные концентрации компонент, из которых состоит среда. Это позволяет принять решение о дальнейшем использовании среды на месте, а не отправлять её на дополнительные исследования в лабораторию.

Ценность научных работ соискателя состоит в том, что:

1. Раздел теории нутационной кинетики дополнен новыми соотношениями и коэффициентами для уравнений Блоха.

2 Установлена зависимость формы линии нутации от амплитуды и частоты магнитного поля модуляции. Раздел метрологии, содержащий описание методов и приборов для измерения расхода жидкой среды, дополнен описанием нового расходомера.

3. Раздел метрологии, в котором представлены методики и соответствующие им соотношения для расчета чувствительности квантовых магнетометров, дополнен новой методикой.

4. Раздел метрологии, в котором представлены методы измерения времени продольной релаксации, дополнен новыми соотношениями.

5. Раздел теории ядерной релаксации жидких сред, в котором значение времени продольной релаксации определяется в соответствии с моделью Дебая через вязкость η дополнен новыми математическими соотношениями, подтверждающими влияние электрического поля на турбулентную вязкость.

6. Получена новая формула для описания зависимости изменения амплитуды регистрируемого сигнала ЯМР с использованием модуляционной методики в условиях быстрого прохождения через резонанс от времени.

7. В уравнениях Блоха установлены коэффициенты, позволяющие при их решении получать значения компонент вектора намагниченности, описывающих форму линии регистрируемого сигнала ЯМР в слабом поле с использованием модуляционной методики. .

Диссертация «Методы управления движением вектора ядерной намагниченности в текущей жидкости в спектрометрах и магнитометрах» соответствует требованиям, установленным п. 14 «Положения о присуждении ученых степеней» и научной специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики, отрасль науки – физико-математические науки. Диссертация соответствует пунктам 1–5, 7, 8 паспорта специальности 01.04.01.

Материалы диссертации соискателя с необходимой полнотой изложены в 133 работах общим объемом 43,85 п.л., авторский вклад составляет 20,96 п.л. Из них: 21 работа опубликована в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень изданий, где должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени; 60 – в изданиях, включенных в международные базы цитирования; 2 результата интеллектуальной деятельности; 50 публикаций в других изданиях и материалах конференций.

Основные публикации по теме диссертации:

1. Давыдов В.В., Семенов В.В. Нестационарный режим работы нутационных ЯМР расходомеров и магнитометров // ПТЭ. 1999. № 3. С. 151-153.

2. Давыдов В.В., Семенов В.В. Линия нутации ядерно-магнитного спектрометра с текущим образцом // Радиотехника и электроника. 1999. Т. 44. № 12. С. 1528-1531.

3. Давыдов В.В., Дудкин В.И. Режим работы меточного ЯМР-расходомера на основе эффекта параметрического резонанса // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2002. Т. 45. № 5. С. 49-51.

4. Давыдов В.В., В.И. Дудкин, Карсеев А.Ю. Повышение точности измерения констант релаксации текущей жидкости в ядерно-магнитном спектрометре // Известия Вузов. Приборостроение. 2013. Т. 56. № 10. С. 64-68.

5. Давыдов В.В., Дудкин В.И., Величко Е.Н., Карсеев А.Ю. Нутационный ядерно-магнитный тесламетр для измерения слабых магнитных полей // Метрология. 2014. № 5. С. 32-41.

6. Давыдов В.В., Дудкин В.И., Карсеев А.Ю. Уравнение движения вектора намагниченности в катушке нутации ядерно-магнитных измерителей с текущей жидкостью // ПЖТФ. 2014. Т. 40. № 19. С. 96-104.

7. Давыдов В.В., Дудкин В.И., Карсеев А.Ю. Измерение слабых магнитных полей нутационным ядерно-магнитным магнитометром на текущей жидкости // Известия Вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 12. С. 39-45.

8. Давыдов В.В., Дудкин В.И., Карсеев А.Ю. Ядерно-резонансный магнитометр с текущей жидкостью для измерения слабых полей // ЖТФ. 2015. Т. 85. № 3. С. 138-143.

9. Семенов В.В., Никифоров Н.Ф., Ермак С.В., Давыдов В.В. Расчет стационарного сигнала магнитного резонанса в оптически ориентированных атомах, индуцированного последовательностью радиоимпульсов // Радиотехника и электроника. 1990. Т. 35. № 10. С. 2179-2183.

10. Давыдов В.В., Семенов В.В. Возможность использования эффекта радиооптического резонанса для спектрального анализа радиосигналов // Журнал прикладной спектроскопии. 2001. Т. 68. № 3. С. 400-402.

11. Davydov V.V., Velichko E.N., Dudkin V.I., Karseev A.Yu. A Nutation Nuclear-Magnetic Teslameter for Measuring Weak Magnetic Fields // Measurement Techniques. 2014. Vol. 57. Issue 6. P. 684-689

12. Давыдов В.В., Дудкин В.И., Карсеев А.Ю. Управление контуром линии нутации в ядерно-магнитных расходомерах // Известия высших учебных заведений. Физика. 2015. Т. 58. № 2. С. 8-13.

13. Давыдов В.В., Дудкин В.И., Карсеев А.Ю. Малогабаритный меточный ядерно-магнитный расходомер для измерения быстроменяющихся расходов жидкости // Измерительная техника. 2015. № 3. С. 48-51.

14. Давыдов В.В., Дудкин В.И., Карсеев А.Ю. Формирование линии нутации в ядерно-магнитных измерителях с текущим образцом // ПЖТФ. 2015. Т. 41. № 7. С. 103-107.

15. Давыдов В.В., Дудкин В.И., Елисеев А.И. Уравнение поведения вектора ядерной намагниченности текущей жидкости в условиях модуляции магнитного поля в катушке нутации // ПЖТФ. 2015. Т. 41. № 10. С. 15-23.

16. Davydov V.V., Dudkin V.I., Karseev A.Yu. Governance of Nutation Countour in Nuclear-Magnetic Flowmeters // Russian Physics Journal. 2015. Vol. 58. Issue 2. P. 146-152.

17. Davydov V.V., Dudkin V.I., Karseev A.Yu. A Compact Market Nuclear-Magnetic Flowmeter for Measurement of Rapidly Varying Flow Rates of Liquid // Measurement Techniques. 2015. Vol. 58. Issue 3. P. 317-322.

18. Давыдов В.В., Дудкин В.И., Величко Е.Н., Карсеев А.Ю. Дистанционный ядерно-резонансный магнитометр для измерений сверхсильных неоднородных полей // Измерительная техника. 2015. № 5. С. 56-61.

19. Давыдов В.В., Дудкин В.И. О формировании линии нутации в условиях модуляции магнитного поля // Известия выс. учебных заведений. Физика. 2016. Т. 59. № 7. С. 85-91.

20. Давыдов В.В. Малогабаритный поляризатор для ядерно-магнитных расходомеров и магнитометров. // Известия Высших Учебных заведений. Приборостроение. 2001. Т 44. № 8. С. 49-52.

21. Davydov V.V., Dudkin V.I., Karseev A.U. Nuclear Magnetic Flowmeter-Spectrometer with Fiber – Optical Communication Line in Cooling Systems of Atomic Energy Plants // Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). 2013. Vol. 22. No 2. P. 112-117.

22. Галичина А.А., Карсеев А.Ю., Давыдов В.В., Дудкин В.И. Использование топливных нефтяных эмульсий в энергетических установках предприятий // НТВ СПбГПУ. Наука и образование. 2013. № 2 (171). С. 243-247.

23. Davydov V.V., Dudkin V.I., Karseev A.Yu. A Compact Market Nuclear-Magnetic Flowmeter for Measurement of Rapidly Varying Flow Rates of Liquid // Measurement Techniques. 2015. Vol. 58. Issue 3. P. 317-322.

24. Давыдов В.В., Дудкин В.И., Карсеев А.Ю. Двухканальный нутационный ЯМР магнитометр для дистанционного контроля индукции магнитного поля // ПТЭ. 2015. № 6. С. 84-90.

25. Davydov V.V., Velichko E.N., Dudkin V.I., Karseev A.Yu. A Remote nuclear-resonance magnetometer for measuring intensive nonuniform fields // Measurement Techniques. 2015. Vol. 58. Issue 5. P. 556-561.

26. Давыдов В.В., Дудкин В.И., Величко Е.Н. Методика измерения чувствительности ядерно-резонансных магнитометров с текущей жидкостью // Измерительная техника. 2016. № 2. С. 50-54.

27. Davydov V. V., Dudkin V. I., Vologdin V. A. Nuclear-resonance magnetometer with flowing liquid for superstrong inhomogeneous fields measuring // International Journal of Modern Physics. Conference Series. 2016. Vol. 41. 1660146.

28. Давыдов В.В., Дудкин В.И., Петров А.А., Мязин Н.С. О чувствительности ядерно-резонансных магнитометров с текущей жидкостью // ПЖТФ. 2016. Т. 42. № 13. С. 64-71.

29. Davydov V.V., Velichko E.N., Dudkin V.I. Method for Measuring the Sensitivity of Nuclear-Resonance Magnetometers with Flowing Liquid // Measurement Techniques. 2016. Vol. 59. Issue 2. P. 176-182.

30. Davydov V.V., Dudkin V.I. On the formation of a nutation line under conditions of magnetic field modulation // Russian Physics Journal. 2016. Vol. 59. No 7. P 1008-1015.

31. Davydov V.V., Velichko E.N., Dudkin V.I., Karseev A.Yu. A Remote nuclear-resonance magnetometer for measuring intensive nonuniform fields // Measurement Techniques. 2015. Vol. 58. Issue 5. P. 556-561.

32. Давыдов В.В., Дудкин В.И. О возможности определения термодинамической температуры коллоидных растворов методом ядерного магнитного резонанса // ЖТФ. 2016. Т. 86. вып. 7. С. 154-158.

33. Davydov V.V. The research of the relaxation times T1 and T2 in flow liquid // Journal of Physics (B): Atomic, Molecular and Optical Physics. 1997. Vol. 30. No. 17. P. 3993-3994.

34. Davydov V.V., Dudkin V.I., Karseev A.Yu. Fiber – Optic Imitator of Accident Situation for Verification of Work of Control Systems of Atomic Energy Plants on Ships // Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). 2014. Vol. 23. No 3. P. 170-176.

35. Давыдов В.В., Величко Е.Н., Дудкин В.И., Карсеев А.Ю. Волоконно-оптическая система имитации аварий в контурах охлаждения атомной энергетической установки // Оптический журнал. 2015. Т. 82. № 3. С. 4-8.

36. Давыдов В.В., Дудкин В.И., Карсеев А.Ю., Вологдин В.А. Особенности применения метода ядерно – магнитной спектроскопии для исследования потоков жидких сред // ЖПС. 2015. Т. 82. № 6. С. 898-902.
37. Давыдов В.В. О некоторых особенностях исследования ядерным магнитным резонансом потоков жидких сред // Оптика и спектроскопия. 2016. Т. 121. № 1. С. 18-25.
38. Давыдов В.В. Ядерно-магнитный спектрометр для исследования потоков жидких сред // Измерительная техника. 2016. № 11. С. 46-51.
39. Давыдов В.В. Управление временем продольной релаксации T_1 текущей жидкости в ЯМР расходомерах // Известия высших учебных заведений. Физика. 1999. Т. 42. № 9. С. 50-53.
40. Давыдов В.В. Влияние неоднородного магнитного поля на время продольной релаксации T_1 текущей жидкости // Инж.-Физ. журнал. 2000. Т. 73. № 4. С. 819-822.
41. Карсеев А.Ю., Давыдов В.В., Дудкин В.И. Изменение времени спин-решеточной релаксации чистой воды сильным электрическим полем в турбулентном потоке // НТВ СПбГПУ. Физико-математические науки. 2013. № 1 (165). С. 196-199.
42. Давыдов В.В., Карсеев А.Ю. Малогабаритный ядерно-магнитный спектрометр для экспресс-анализа жидких сред // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. Т. 13. № 4. С. 87-92.
43. Давыдов В.В., Дудкин В.И., Карсеев А.Ю. Малогабаритный ядерно-магнитный релаксометр для экспресс – контроля состояния жидких и вязких сред // Измерительная техника. 2014. № 8. С. 44-48.
44. Davydov V.V., Cheremiskina A.V., Velichko E.N., Karseev A.Yu. Express-control of biological solution by portable nuclear-magnetic spectrometer // Journal of Physics. Conference Series. 2014. Vol. 541. 012006.
45. Davydov V.V., Dudkin V.I., Karseev A.Yu. A compact nuclear magnetic relaxometer for the express monitoring of the state of liquid and viscous media // Measurement Techniques. 2014. Vol. 57. Issue 8. P. 912-918.
46. Давыдов В.В., Величко Е.Н., Карсеев А.Ю. Ядерно-магнитный минирелаксометр для контроля состояния жидких и вязких сред // Научно-

технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 1. С. 115-121.

47. Давыдов В.В., Величко Е.Н., Дудкин В.И., Карсеев А.Ю. Ядерно-магнитный релаксометр для экспресс-контроля состояния конденсированных сред // ПТЭ. 2015. № 2. С. 72-76.

48. Давыдов В.В., Дудкин В.И., Карсеев А.Ю. О возможности метода ядерно-магнитной спектроскопии для экспресс-контроля жидких сред // ЖПС. 2015. Т. 82. № 5. С. 736-742.

49. Karseev A. Yu., Vologdin V.A., Davydov V.V. Feature of nuclear magnetic resonance signal registration in weak magnetic fields for the express-control of biological solutions and liquid medium by nuclear magnetic spectroscopy method // Journal of Physics. Conference Series. 2015. Vol. 643(1). 012108.

50. Давыдова Т.И., Давыдов В.В., Глинушкин А.П., Андреев С.Н., Рудь В.Ю. О необходимости использования статистических моделей для экологического мониторинга в экспресс-режиме сельскохозяйственных угодий методом ядерной магнитной спектроскопии // Biotika. 2017. Т. 8. № 1. С. 37-44.

51. Давыдов В.В., Мязин Н.С. Многофункциональный малогабаритный ядерно-магнитный спектрометр // Измерительная техника. 2017. № 2. С. 58-62.

52. Давыдов В.В., Мязин Н.С. Давыдова Т.И. Неразрушающий метод экспресс-контроля состояния конденсированных сред для экологического мониторинга // Дефектоскопия. 2017. № 7. С. 52-61.

53. Myazin N.S., Davydov V.V., Yushkova V.V., Davydova T.I., Rud' V.Yu. New nondestructive method for determining the composition of components in biological objects in express mode // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 917 (1). 042017.

Диссертация «Методы управления движением вектора ядерной намагниченности в текущей жидкости в спектрометрах и магнитометрах» Давыдова Вадима Владимировича рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Заключение принято на совместном заседании кафедры фотоники и линий связи и кафедры физики. Присутствовало на заседании 14 чел. Результаты

голосования: «за» – 12 чел., «против» – 1 чел., «воздержалось» – 2 чел., протокол № 16 от 06 декабря 2017 г.

Заведующий кафедрой фотоники и линий связи,
кандидат технических наук, доцент



Глаголев Сергей Фёдорович

Заведующий кафедрой физики,
доктор технических наук, профессор



Колгатин Сергей Николаевич