

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Направление подготовки/профиль 12.06.01/05.11.13  
Школа ИШНКБ  
Отделение

**Научный доклад об основных результатах подготовленной  
научно-квалификационной работы**

| Тема научного доклада   |
|---|
| Высокочувствительный датчик напряжения магнитного поля с ферромагнитной жидкостью |

УДК 537.633.2:681.586.728

**Аспирант**

| Группа | ФИО                   | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------|---------|------|
| A4-33  | Зятков Денис Олегович |         |      |

**Руководителя профиля подготовки**

| Должность | ФИО | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----|---------------------------|---------|------|
|           |     |                           |         |      |

**Руководитель отделения**

| Должность | ФИО | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----|---------------------------|---------|------|
|           |     |                           |         |      |

**Научный руководитель**

| Должность | ФИО          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор | Юрченко А.В. | д.т.н                     |         |      |

## Общая характеристика работы

### Актуальность темы исследования

Важнейшими характеристиками датчиков магнитных полей являются чувствительность, порог чувствительности, динамический диапазон и точность. Улучшить указанные характеристики магнитных датчиков можно путем использования перспективных магнитных материалов восприимчивых к слабому магнитному полю. В качестве магнитного материала может выступить магнитная жидкость (ферромагнитная жидкость, феррожидкость), которая имеет обширное применение в медицине, биологии, автомобильной и военной промышленности и т. д. Для применения магнитных жидкостей в этих областях ее исследуют в сильных магнитных полях ( $B = 10^{-3} - 10^3$  Тл). Магнитные жидкости «представляют собой искусственно сформированные и особым образом структурированные среды обладающие» [1], уникальными магнитными свойствами. «Под такими свойствами следует понимать особые значения физических параметров среды» [2]: диэлектрической  $\epsilon$  и магнитной  $\mu$  проницаемостей, пространственную структуризацию, зависящую от размера и формы магнитных частиц, «наличие возможности управления параметрами среды в результате внешних воздействий» [2]. Высокая подвижность магнитных частиц в жидкости обеспечивает их сильную чувствительность к слабым магнитным полям и дает значительное преимущество по сравнению с твердотельными аналогами.

Интерес физиков и механиков к магнитным жидкостям постоянно растёт, но, к сожалению, в основном за рубежом. Не смотря на множество опубликованных работ по магнитным жидкостям, исследование механизмов структурирования магнитных частиц (широкого диапазона размеров от 100 мкм до 10 нм и конфигураций) в жидкой матрице с учетом магнитодипольного межчастичного взаимодействия под действием слабого магнитного поля ( $B = 10^{-6} - 10^{-9}$  Тл) являются актуальными в качестве создания чувствительных элементов к магнитному полю. На чувствительность магнитной жидкости к магнитному полю так же оказывает влияние природа материала частиц их конфигурации и размер.

**Цель**—получение магнитных жидкостей и проведение исследований при воздействии внешним магнитным полем ( $B = 10^{-6} - 10^{-9}$  Тл) в качестве чувствительного элемента для датчика магнитного поля.

### **Задачи:**

1. Получение магнитных жидкостей с разным размером, формой, концентрацией и природой частиц.
2. Экспериментальное изучение оптических свойств магнитных жидкостей.

3. Изучение их микроструктуры и выявление корреляции процессов структурообразования с закономерностями проявления макроскопических свойств.
4. Разработка методики проведения эксперимента.

**Положения выносимые на защиту:**

1. оценка влияния формы, размера, концентрации магнитных частиц в жидком носителе на чувствительность к магнитному полю.
2. изучение влияния микроструктуры среды в ТГц области на чувствительность магнитной жидкости к магнитному полю.
3. методика фиксации изменения магнитного поля с использованием магнитной жидкости.

В последнее время, зарубежные ученые активно изучают магнитную жидкость в качестве активной среды для создания датчиков магнитного поля. За последние пять лет появились работы по созданию оптоволоконных датчиков магнитного поля с использованием в качестве активной среды магнитной жидкости. «Магнитооптические эффекты, возникающие в результате взаимодействия излучения с веществом, приводят не только к изменению дисперсионных кривых коэффициента поглощения и показателя преломления, но и к появлению или изменению оптической анизотропии среды (изменяется структура магнитной жидкости)» [3-11]. Проведенный анализ данных работ позволил выявить круг неохваченных проблем, касающихся магнитной жидкости в качестве чувствительного элемента к внешнему магнитному полю. В данных работах авторы используют готовые коммерческие жидкости на основе оксида железа, в то время как синтез новых магнитных жидкостей открывает новые возможности эффективного управления электромагнитными волнами и улучшения характеристик существующих систем для применений в любом диапазоне частот в качестве чувствительного элемента для сенсора магнитного поля. В качестве чувствительной системы используются сложные оптоволоконные конструкции, сложная система излучения и приема ИК излучения. Использование ИК источника излучения приводит к нагреву магнитной жидкости и изменению ее магнитных свойств. Чувствительность оптоволоконных структур составляет 0.19 Дб/мТл в области от 10 мТл до 200 мТл.

В данной работе предлагается использовать новый метод и новую чувствительную структуру для сенсора магнитного поля. Данная чувствительная структура обладает низкой стоимостью, простотой изготовления и лучшей чувствительностью.

Измерительная ячейка представляла собой сосуд из диэлектрического материала объемом 0,5 см<sup>3</sup>. Внутри сосуда располагались медные обкладки площадью  $S = 10 \text{ мм}^2$  на расстоянии  $d = 3 \text{ мм}$  которые соединялись с гибкими выводами (рис. 1). В качестве чувствительного материала выступала магнитная жидкость на основе

полиметилфенилсилоксан (ПФМС-4) и магнитных частиц из нанокристаллического сплава 5БДСР с относительной магнитной проницаемостью, не менее 50000.

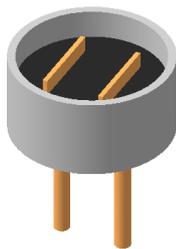


Рис. 1. Измерительная ячейка с магнитной жидкостью

Измерение емкости такой ячейки проводили на приборе типа Е7-12.

Для измерения чувствительности данного датчика, измерительную ячейку помещали в экранированную трубу, которая была изготовлена из лент нанокристаллического сплава 5БДСР (рис. 2).



Рис. 2. Экранированная труба из лент аморфных магнитомягких сплавов

Магнитная индукция внутри данной трубы измерялась при помощи микротесламетра МТ-10. Изменение магнитной индукции, равная  $\Delta B = 5,9$  мкТл, приводило к изменению емкости на 1,35 пФ, то есть чувствительность емкостного датчика составила 0,228 пФ/мкТл.

Проведение исследований магнитных жидкостей из магнитных частиц различной конфигураций, состава, размера с разным жидким носителем, форм-фактором измерительной ячейки будет вносить существенный вклад в чувствительность датчика магнитного поля.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдюшин А. С., Власов М. Ю., Пастернак Ю. Г. Применение метаматериалов в антенной технике // Вестник ВГТУ. 2013. №3-1.
2. Климов К.Н. Определение, параметры и области применения импедансно согласованных материалов // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2016. №1.
3. Nancy Meng Ying Zhang, Xinyong Dong, Perry Ping Shum, Dora Juan Juan Hu, Haibin Su, Wen Siang Lew and Lei Wei. Magnetic field sensor based on magnetic fluid coated long period fiber grating // J. Opt. 17 (2015) 065402 (5pp).
4. Ji Xia, Fuyin Wang, Hong Luo, Qi Wang and Shuidong Xiong. A Magnetic Field Sensor Based on a Magnetic Fluid-Filled FP-FBG Structure // Sensors 2016, 16, 620.
5. Mamniashvili G.I., Mikeladze S.V., Gegechkori T.O., B.V. Surguladze B.V., Pichkhaia G.N., Akhalkatsi A.M., Daraselia D.M., Japaridze D.L. Magnetometry and Hyperthermia Study of Magnetic Fluid Preparation UNIMAG // World Journal of Condensed Matter Physics, 2014, 4, 6-12.
6. Jiali Tang, Shengli Pu, Shaohua Dong and Longfeng Luo. Magnetic Field Sensing Based on Magnetic Fluid Clad Multimode-Singlemode-Multimode Fiber Structures // Sensors 2014, 14, 19086-19094.
7. Hongzhu Ji, Shengli Pu, Xiang Wang, and Guojun Yu. Magnetic field sensing based on V-shaped groove filled with magnetic fluids // APPLIED OPTICS / Vol. 51, No. 8 / 10 March 2012.
8. Jie Zheng, Xinyong Dong, Peng Zu, Li-Yang Shao, Chi Chiu Chan, Ying Cui and Perry Ping Shum. Magnetic field sensor using tilted fiber grating interacting with magnetic fluid // Optical Society of America. 2013. Vol. 21, No. 15.
9. Y. Chen, Q. Han, T. Liu, X. Lan, H. Xiao, Optical fiber magnetic field sensor based on single-mode-multimode-single-mode structure and magnetic fluid // Opt. Lett. 38 (2013) 3999–4001.
10. Longfeng Luo, Shengli Pu, Shaohua Dong, Jiali Tang. Fiber-optic magnetic field sensor using magnetic fluid as the cladding // Sensors and Actuators A 236 (2015) 67–72.
11. Fangfang Wei, Arun Kumar Mallik, Dejun Liu, Qiang Wu, Gang-Ding Peng, Gerald Farrell, Yuliya Semenova. Magnetic field sensor based on a combination of a microfiber coupler covered with magnetic fluid and a Sagnac loop // Scientific Reports | 7: 4725.