

**РЕШЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА УрФУ 01.02.11  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК**

от 14 сентября 2021 г. № 3

о присуждении Мусихину Антону Юрьевичу, гражданство Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Реологические свойства жидких и мягких магнитных полимеров» по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений принята к защите диссертационным советом УрФУ 01.02.11 19 мая 2021 г., протокол № 2.

Соискатель, Мусихин Антон Юрьевич, 1993 года рождения, в 2017 г. окончил ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению подготовки 01.04.01 – Математика;

в 2021 г. окончил очную аспирантуру ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» по направлению подготовки 01.06.01 – Математика и механика (Механика жидкости, газа и плазмы);

работает в должности инженера-исследователя в Лаборатории математического моделирования физико-химических процессов в многофазных средах Школы наук Института естественных наук и математики и в должности ассистента кафедры теоретической и математической физики (по совместительству) Института естественных наук и математики ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина».

Диссертация выполнена на кафедре теоретической и математической физики Института естественных наук и математики ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Андрей Юрьевич Зубарев, Федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Институт естественных наук и математики, лаборатория математического моделирования физико-химических процессов в многофазных средах, главный научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

**Вшивков Сергей Анатольевич**, доктор химических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург), кафедра органической химии и высокомолекулярных соединений, профессор;

**Крамаренко Елена Юльевна**, доктор физико-математических наук, доцент, профессор РАН, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (г. Москва), физический факультет, кафедра физики полимеров и кристаллов, профессор;

**Русаков Виктор Владимирович**, кандидат физико-математических наук, ФГБУН Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук (г. Пермь), лаборатория «Динамика дисперсных систем», старший научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 13 работ, из них 5 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях и проиндексированных в международных базах цитирования Scopus и Web of Science; 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Общий объем опубликованных работ – 4.69 п.л., авторский вклад – 2,126 п.л.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

*статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК и Аттестационным советом УрФУ:*

- [1] Zubarev A., **Musikhin A.**, Chirikov D. and Borin D. Elastic properties of ferrogels with chain-like structures. // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. — 2019. — V. 545. — P. 123723; 0,5 п.л. / 0,188 п.л. (Scopus / WoS).
- [2] Zubarev A. Y., **Musikhin A. Y.**, Lopez-Lopez M. T., Iskakova L. Y. & Bulytcheva S. V. Shear modulus of isotropic ferrogels. // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. — 2019. — V. 477. — P. 136 – 141; 0,375 п.л. / 0,125 п.л. (Scopus / WoS).
- [3] Borin D., Stepanov G., **Musikhin A.**, Zubarev A., Bakhtiarov A. & Storozhenko P. Magnetorheological effect of magnetoactive elastomer with a permalloy filler. // *Polymers*. — 2020. — V. 12. — P. 2371; 1,563 п.л. / 0,375 п.л. (Scopus, WoS).
- [4] **Musickhin A.**, Zubarev A. Y., Raboisson-Michel M., Verger-Dubois G. & Kuzhir P. Field-induced circulation flow in magnetic fluids. // *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. — 2020. — V. 378. — P. 0250; 0,5 п.л. / 0,125 п.л. (Scopus, WoS).
- [5] Zubarev A., **Musikhin A.**, Chirikov, D. & Borin D. Elastic stress in ferrogels with chain aggregates. // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. — 2020. — V. 498. — P. 166 – 126; 0,188 п.л. / 0,063 п.л. (Scopus, WoS).

*Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:*

- [6] **Мусихин А. Ю.**, Зубарев А. Ю. — Напряжение композита феррогелей с цепочными агрегатами (Composite stress). Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2019616987 от 03.06.2019.
- [7] **Мусихин А. Ю.**, Зубарев А. Ю. — Модуль сдвига изотропных феррогелей (Shear modulus). Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2019617091 от 03.06.2019.
- [8] **Мусихин А. Ю.**, Зубарев А. Ю. — Поле-индуцированный циркуляционный поток в магнитных жидкостях (Field-induced circulation flow in magnetic fluids). Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020619547 от 07.09.2020.
- [9] **Мусихин А. Ю.**, Зубарев А. Ю. — Упругие свойства магнитных полимеров (Elastic properties of magnetic polymers). Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020663799 от 02.11.2020.

На автореферат поступило 4 положительных отзыва: **Ряполова Петра Алексеевича**, кандидата физико-математических наук, доцента, декана Естественно-научного факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Юго-западный государственный университет, г. Курск. Без замечаний; **Балашою Марии**, кандидата физико-математических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории нейтронной физики И. М. Франка (ЛНФ), Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна. Без замечаний; **Казакова Юрия Борисовича**, доктора технических наук, профессора кафедры электромеханики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», научного руководителя проблемной научно-исследовательской лаборатории прикладной феррогидродинамики. В отзыве содержатся следующие замечания:

1. Из анализа результатов, представленных на рис.2 следует, что компоненты вектора намагниченности существенно нелинейно меняются в зависимости от  $H_0$ . Однако автор далее использует x-компоненту средней намагниченности. Не оценена погрешность этого допущения;
2. Не доказано, что при определении магнитной силы, действующей на частицу со стороны остальных частиц в цепочке, достаточен учет взаимодействия только между ближайшими частицами в цепочке;

**Петрова Данила Александровича**, кандидата физико-математических наук, доцента, доцента кафедры физики фазовых переходов ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет». Без замечаний.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их широкой известностью своими достижениями в данной отрасли науки, их высокой научной компетентностью в области физики магнитных явлений.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, является научно-

квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение научной задачи – установление фундаментальной связи между макроскопическими явлениями и эффектами на микроскопическом уровне, наблюдаемыми в магнитных полимерных композитах, что имеет существенное значение для прогресса в изучении магнитных интеллектуальных материалов.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Основные новые результаты работы, выносимые на защиту, свидетельствуют о личном вкладе автора в области реологии магнитных полимеров:

1. Теоретически определено влияние внешнего магнитного поля на модуль сдвиговой деформации феррогеля с пространственно-однородным хаотическим расположением намагничивающихся частиц.

2. Теоретически объяснен наблюдаемый в компьютерных экспериментах эффект разрыва линейных цепочек, состоящих из намагничивающихся частиц и перколирующих весь образец феррогеля.

3. Теоретически объяснен сильный магнито-реологический эффект, наблюдаемый в феррогелях на основе пермаллоя (сплав 75% Fe – 25% Ni), где модуль сдвига достигает абсолютного значения 8 МПа.

4. Получена экспериментально и подтверждена теоретически зависимость намагниченности и напряжения растяжения от приложенного магнитного поля для магнитополимерных композитов на основе карбонильного железа.

5. В рамках предложенной теоретической модели установлено, что неоднородность внешнего поля (15 кА/м) может приводить к значительному увеличению скорости порядка 0.5 мм/с течения феррожидкости. Этот эффект может быть использован для увеличения скорости транспортировки лекарства в кровеносных сосудах.

Разработанные в данной работе теоретические подходы и модели, позволяющие переходить от описания механических явлений на микроскопическом и мезоскопическом уровне, то есть отдельных частиц и образующихся из них кластеров соответственно, к описанию макроскопических

свойств композитных материалов с ферромагнитным наполнителем, могут быть серьезной теоретической основой для изучения подобных систем в перспективе.

На заседании 14 сентября 2021 г. диссертационный совет УрФУ 01.02.11 принял решение присудить Мусихину А.Ю. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет УрФУ 01.02.11 в количестве 15 человек, из них 4 доктора наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – 1, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета  
УрФУ 01.02.11

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
УрФУ 01.02.11

14 сентября 2021 г.



Германенко Александр Викторович

Овчинников Александр Сергеевич