

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

о диссертационной работе **Биллер Анастасии Михайловны**
«Мезоскопические модели для механики магнитореологических полимеров»,
представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела

А.М. Биллер получила образование в Пермском государственном техническом университете. После окончания в 2009 г. с отличием бакалавриата по направлению «Прикладная математика и информатика» специальность «Математическое моделирование» она поступила в магистратуру по направлению «Прикладная механика» (специальность «Механика деформируемого твёрдого тела»), а затем – в 2011 г. – в очную аспирантуру Института механики сплошных сред УрО РАН по той же специальности.

Ещё обучаясь в магистратуре Анастасия включилась в научную работу Лаборатории физики и механики мягкого вещества по теоретическому изучению фундаментальных свойств магнитореологических эластомеров (МРЭ). Основной раздел этой темы входит в государственное задание Института, а дополнения поддержаны грантами РФФИ.

МРЭ – новые микрокомпозиционные материалы с большой прикладной перспективой, обусловленной их уникальной магнитомеханикой. Теория физико-механических свойств МРЭ ещё только формируется, но при этом уже очень востребована; главные проблемы уже обозначены, но ещё далеки от разрешения.

На решение одной из таких фундаментальных задач и было нацелено исследование А.М. Биллер. Темой её диссертационной работы стало моделирование механического отклика МРЭ на приложенное магнитное поле. Хотя для приложений важен макроскопический отклик материала, понять его природу можно, только разобравшись в характере процессов, определяющих внутреннюю структуру МРЭ, то есть протекающих на мезоскопическом уровне.

Магнитную фазу реальных МРЭ составляют частицы магнитомягкого ферромагнетика (типично – железо) микронных размеров; тот же порядок имеют и межчастичные расстояния. Это означает, что силы магнитного взаимодействия существенно зависят от неоднородности намагничивания частиц. Между тем, в подавляющем большинстве современных работ по теоретической магнитомеханике МРЭ используются модели, представляющие частицы наполнителя точечными объектами, то есть неоднородность их намагничивания полностью игнорируется.

В работе Анастасии (глава 1) проблема магнитного силового взаимодействия частиц исчерпывающе проанализирована для случаев линейного и нелинейного законов намагничивания ферромагнетика. Впервые: (а) даны численные (т.е. фактически точные) решения для пары частиц и (б) предложены удобные интерполяционные формулы, позволяющие легко и аккуратно рассчитывать межчастичные магнитные силы. Как оказалось, при близком расположении частиц «точечные» приближения занижают силы на многие десятки процентов. Подчеркну, что эти результаты имеют превостепенное

значение не только для МРЭ, но и для любых систем микродисперсных ферромагнетиков, например, сухих порошков.

Решения, полученные А.М. Биллер, дали единый репер для классификации и оценки пределов применимости «точечных» моделей взаимодействия намагничивающихся частиц; эти модели, очевидно, пригодны в случае больших межчастичных расстояний. Проведя сравнения, Анастасия смогла построить «карту достоверности» популярных в литературе аппроксимаций, см. главу 1. При этом она обнаружила, что имеющийся набор приближений не полон и завершила его, сформулировав новую *модель взаимодействующих нелинейных диполей*.

На мезоскопическом уровне МРЭ отвечает на намагничивание появлением магнитных сил, стремящихся передвинуть частицы. Эти смещения порождают в эластомерной матрице силы упругого сопротивления. Их расчёт – вторая часть двуединой задачи магнитомеханики МРЭ – составляет содержание главы 2 диссертации. С этой целью выполнено численное решение нелинейных (в геометрическом и физическом аспектах) уравнений теории упругости для пары твёрдых включений в эластомерной матрице. Однако, как оказалось, конечно-элементный подход теряет устойчивость при тесном сближении частиц. Упругую энергию и напряжения на этом интервале межчастичных расстояний А.М. Биллер (совместно с О.В. Столбовым) удалось описать с помощью остроумной стрелневой модели, предсказания которой практически совпадают с данными конечно-элементного расчёта во всей области устойчивости последнего.

В главе 3 решения магнитной и упругой подзадач объединены в замкнутую модель элементарной структурной единицы МРЭ. Это позволило проанализировать поведение такой ячейки при намагничивании и механическом нагружении. В главе 3 сосредоточены главные результаты работы. Доказано, что намагничивание МРЭ создаёт для его структуры состояние деформационной бистабильности: сосуществование режимов «раздвинутой» и сколлапсировавшей пары. Переход между этими конфигурациями реализуется по гистерезисному сценарию. Причём, как показано в диссертации, магнитомеханический гистерезис имеет две формы: явную и латентную. В первом случае скачок возникает исключительно под действием магнитного поля, а во втором – для его возникновения необходимо сочетание магнитного и механического факторов.

В целом в диссертации А.М. Биллер представлено законченное решение корректно поставленной комплексной задачи, имеющей первостепенное значение для современной теории магнитомеханических свойств МРЭ. По своему качеству полученные результаты, безусловно, находятся на мировом уровне. При этом созданная в работе концептуальная «платформа» имеет высокий потенциал развития, а автор диссертации, А.М. Биллер доказала свою высокую научную квалификацию, способность и интерес в дальнейшем развитии исследований по указанному направлению.

Результаты работы А.М. Биллер были доложены на всероссийских и международных конференциях, что подтверждено соответствующими дипломами и сертификатами. Анастасия является автором/соавтором 13 публикаций и 1 программы для ЭВМ по теме работы, в том числе – четырёх статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК.

Диссертационная работа Анастасии Михайловны Биллер «Мезоскопические модели для механики магнитореологических полимеров» является законченным научным исследованием и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела.

Научный руководитель:

Заведующий Лабораторией физики и механики мягкого вещества,
доктор физико-математических наук профессор

Райхер Юрий Львович

614013, г. Пермь, ул. Академика Королёва, 1, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук

Тел.: +7 (342) 237-83-23

E-mail: raikher@icmm.ru

«Я, Ю. Л. Райхер, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку».

12 июня 2016

/Райхер Ю.Л.

Личную подпись Райхер Ю.Л.
удостоверяю _____
Специалист по кадрам Райхер Ю.Л.

