

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н. Аношкина Александра Николаевича на диссертационную работу Ужеговой Надежды Ивановны "Разработка методов анализа экспериментальных данных атомно-силовой микроскопии для исследования структуры и свойств эластомерных нанокомпозитов", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - "Механика деформируемого твердого тела"

Диссертационная работа Ужеговой Н.И. посвящена совершенствованию методов обработки и расшифровки результатов экспериментальных данных, получаемых с помощью атомно-силовой микроскопии. Объектом исследования являются эластомеры, наполненные наночастицами, хотя разработанные подходы и полученные результаты можно использовать и при анализе материалов других классов, например полимерных композитов с нанодобавками.

Актуальность темы исследования.

В настоящее время атомно-силовая микроскопия (АСМ) применяется во всех областях науки и особенно широко в материаловедении, при создании новых материалов и использовании нанотехнологий. Одной из широко применяемых нанотехнологий является модификация различными нанонаполнителями эластомеров для повышения их физико-механических и функциональных свойств. При этом технологические вопросы производства новых материалов: номенклатура добавок, способы их введения в материал, технологические режимы изготовления и т.п., оказались более разработанными, нежели научные основы их создания. В настоящее время не решена проблема математического моделирования и прогнозирования свойств эластомерных нанокомпозитов. Требуется развитие моделей описывающих структуру, масштабные эффекты и позволяющих адекватно предсказывать свойства наноструктур и нанокомпозитов на теоретической основе. Это обстоятельство не позволяет получить оптимальные составы и подобрать наиболее эффективные технологические режимы изготовления новых материалов. Для решения данной задачи необходимо проведение комплекса теоретических и экспериментальных исследований, в том числе исследований параметров структуры композитов с использованием самых современных методов, в том числе АСМ. При этом проблема расшифровки данных, полученных в результате сканирования поверхности, и оценка характеристик материала по этим данным является известной проблемой.

Существующее программное обеспечение, поставляемое вместе с микроскопом, не всегда позволяет получить адекватные результаты. Поэтому тема диссертационной работы, посвященной разработке новых методов и алгоритмов обработки результатов АСМ для получения достоверных данных о структуре и свойствах материала, является актуальной.

Диссертационная работа имеет объем 136 страниц, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы на 156 наименований и приложения.

В первой главе диссертационной работы приведен обзор литературы по тематике исследования. Дано описание атомно-силовой микроскопии, рассмотрены используемые методы анализа получаемых изображений, сформулированы проблемы и выявлены ограничения существующих подходов.

Вторая глава посвящена проблеме выделения объектов на рельефе поверхности образца, полученного в результате зондового сканирования на атомно-силовом микроскопе. Предложен метод многоуровневого анализа рельефа, позволяющий выделять на поверхности для последующего анализа объекты заданного характерного размера. Разработан алгоритм, реализующий данный метод, для случая выделения на исследуемой поверхности объектов трех иерархических уровней. Проведена апробация разработанного алгоритма на модельной поверхности, подтвердившая эффективность предложенного метода. Проиллюстрировано использование предложенного метода для сравнительного анализа структуры поверхности образцов эластомерного нанокompозита, изготовленного с разными временами перемешивания.

Третья глава посвящена исследованию влияния капиллярных явлений на взаимодействие зонда атомно-силового микроскопа с пленкой жидкости на поверхности исследуемого образца. Предложен новый метод получения уравнения межфазной поверхности с учетом капиллярных сил. Показано, что для исследования капиллярных явлений на наномасштабном уровне нельзя пренебрегать действием силы тяжести. Получено уравнение границы жидкости около зонда, найдены профили границы жидкости для различных значений глубины погружения зонда в жидкость. Выявлены новые эффекты взаимодействия зонда с жидкостью на поверхности образца. Установлено, что капиллярные явления не могут служить объяснением скачка на силовой кривой, получаемой в результате атомно-силового сканирования поверхности.

В четвертой главе рассмотрены основные модели контактного взаимодействия, используемые для описания контакта зонда АСМ с исследуемым материалом. Разработана новая модель контактного взаимодействия зонда АСМ и мягкого материала, учитывающая особенности упругого поведения кантилевера при анализе величины подъема зонда за счет действия поверхностных сил, с использованием геометрии зонда в виде параболоида вращения. Показано, что модель позволяет более точно описывать экспериментальные кривые на прямом и обратном ходе при исследовании адгезионных и диссипативных свойств поверхности эластомера.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации вполне достаточна и следует из анализа содержания научно-квалификационного труда соискателя.

Научная новизна:

1) Разработан метод многоуровневого анализа рельефа поверхности на основе выделения объектов заданного размера на криволинейной поверхности.

2) Предложен новый метод получения уравнения межфазной поверхности с учетом капиллярных сил. Получено уравнение границы жидкости около зонда, найдены профили границы жидкости для различных значений глубины погружения зонда в жидкость. Выявлены новые эффекты взаимодействия зонда с жидкостью на поверхности образца.

3) Разработана новая модель контактного взаимодействия зонда АСМ и мягкого материала, учитывающая особенности упругого поведения кантилевера.

Теоретическая значимость полученных автором результатов определяется разработкой новых и обоснованием применимости существующих моделей контактного взаимодействия зонда АСМ с поверхностью исследуемого материала для достоверной оценки его механических свойств.

Практическая значимость полученных автором результатов определяется тем, что на основе разработанных моделей предложены или усовершенствованы методы анализа структуры и свойств поверхности материалов с помощью АСМ. Методы апробированы экспериментально при исследовании параметров структуры и свойств поверхности нескольких эластомеров.

→ **Замечания по диссертационной работе.**

По диссертационной работе Ужеговой Надежды Ивановны имеются следующие замечания:

1. При разработке метода многоуровневого анализа рельефа поверхности в диссертации рассматривается в качестве сглаживающего фильтра только линейный оператор «прямоугольное окно». Представляет интерес проведение сравнительной оценки эффективности метода при использовании другого оператора на основе непрерывно дифференцируемой функции.
2. В разработанной модели контактного взаимодействия зонда АСМ и исследуемого материала принято допущение об идеальной гладкости контактирующих поверхностей. Возникает вопрос: возможен ли контакт между рассматриваемыми объектами с трением, и каково влияние этого эффекта на моделируемые параметры контактного взаимодействия?
3. Разработанная модель контактного взаимодействия учитывает особенности упругого поведения кантилевера при контакте с «мягким» материалом, при этом материал зонда считается абсолютно жестким, имеющим бесконечный модуль Юнга. Возможно ли применение данной модели для описания контактного взаимодействия с поверхностью материала, жесткость которого сопоставима с жесткостью зонда, а также с поверхностью неоднородного материала, например, композита с эластомерной матрицей и жесткими включениями?
4. Представляет интерес апробация разработанной модели при исследовании параметров структуры и свойств эластомеров, модифицированных нанонаполнителем, поскольку диссертационное исследование направлено на разработку методов анализа эластомерных нанокомпозитов.

Сделанные замечания не ставят под сомнение значимость представленных в диссертации результатов и квалификацию исполнителя.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание диссертационной работы. По результатам диссертационной работы имеется двадцать пять публикаций, в том числе восемь статей в журналах из списков Web of Science, Scopus или рекомендованных ВАК. Получены три свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ на основе алгоритмов, разработанных в диссертационной работе.

Диссертационная работа хорошо оформлена и иллюстрирована, проведен полный литературный обзор, текст работы написан правильным научным языком.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении учёных степеней».

Суммируя вышесказанное можно утверждать, что диссертационная работа Ужеговой Надежды Ивановны на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи по разработке новых моделей контактного взаимодействия и метода многоуровневого анализа рельефа поверхности для исследования структуры и свойств эластомерных нанокompозитов с помощью данных атомно-силовой микроскопии, имеющей существенное значение для отраслей, связанных с развитием нанотехнологий и созданием новых композиционных материалов, модифицированных нанонаполнителями.

Диссертационная работа Ужеговой Н.И. "Разработка методов анализа экспериментальных данных атомно-силовой микроскопии для исследования структуры и свойств эластомерных нанокompозитов" соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а её автор Ужегова Надежда Ивановна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - "Механика деформируемого твердого тела".

Официальный оппонент - доктор технических наук, профессор кафедры механики композиционных материалов и конструкций ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Адрес: 6149900, РФ, Пермский край, г. Пермь – ГСП, Комсомольский пр. 29
E-mail: rector@pstu.ru, телефон +7(342)2123927

А.Н. Аношкин

28.11.2016

Докторская диссертация защищена по специальности
01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Адрес места основной работы: 6149900, РФ, Пермский край, г. Пермь – ГСП,
Комсомольский пр. 29 Работный телефон: +7(342)2391294

Адрес электронной почты:

Подпись А.Н. Аношкина за



Старший п.и.п.

В.И. Макаревич

28.11.2016